



## MEASURING APPARATUS

Patent Number: JP8062010  
Publication date: 1996-03-08  
Inventor(s): RIMANTASU BAITOKUSU; SUMINO SHINYA; TERAMOTO SATOSHI  
Applicant(s): SEMICONDUCTOR ENERGY LAB CO LTD  
Requested Patent: JP8062010  
Application Number: JP19940219414 19940822  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G01F1/68 ; G01K7/00 ; G01P5/12  
EC Classification:  
Equivalents:

### Abstract

**PURPOSE:** To obtain a flow rate sensor in which the flow rate can be measured with no DC drift while compensating for the temperature.

**CONSTITUTION:** A temperature measuring resistor 12 and a heating element 11 are formed of a thin platinum film on a thin diamond film 13. The temperature measuring resistor 12 detects the transient response characteristics of the thin diamond film 13 to the pulsation heating of the heating element 11. The transient response characteristics thus detected are evaluated at a CPU 107. On the other hand, temperature of the fluid is detected by means of a temperature detection resistor 111. Finally, a temperature compensated flow rate is calculated using the transient response characteristics and the temperature of the fluid. This constitution can determine a flow rate which is not dependent on the temperature of the fluid.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-62010

(43) 公開日 平成8年(1996)3月8日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 F 1/68				
G 0 1 K 7/00	3 2 1 C			
G 0 1 P 5/12	K			

審査請求 未請求 請求項の数47 F D (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願平6-219414

(22) 出願日 平成6年(1994)8月22日

(71) 出願人 000153878

株式会社半導体エネルギー研究所

神奈川県厚木市長谷398番地

(72) 発明者 リマントス バイトクス

神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半  
導体エネルギー研究所内

(72) 発明者 角野 真也

神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半  
導体エネルギー研究所内

(72) 発明者 寺本 聡

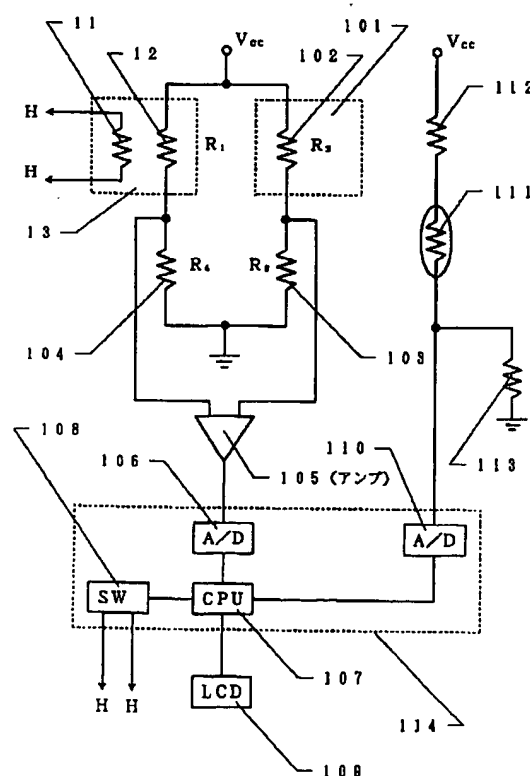
神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半  
導体エネルギー研究所内

## (54) 【発明の名称】 計測装置

## (57) 【要約】

【目的】 流量の計測を直流ドリフトがなく、また温度補償を行った状態で行うことのできる流量センサーを提供する。

【構成】 ダイヤモンド薄膜13上に形成された白金薄膜よりなる測温抵抗体12と発熱体11とを有する。そして、発熱体11からのパルス状の加熱に対するダイヤモンド薄膜13の過渡応答特性を測温抵抗体12で検出する。測温抵抗体で検出された過渡応答特性は、CPU 107において評価される。また別に流体の温度を測温抵抗体111で検出する。そして、前記過渡応答特性と前記流体の温度とを用いて、流体の温度を補償した流量値を算出する。こうして流体の温度によらない流量値を得ることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 流体に接すべく配置された薄膜材料と、  
該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、  
該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、  
前記流体の温度に対応した出力を得る手段と、  
を有することを特徴とする計測装置。

【請求項2】 流体に接すべく配置された薄膜材料と、  
該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、  
該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、  
前記流体に接して配置された测温抵抗体と、  
を有することを特徴とする計測装置。

【請求項3】 流体に接すべく配置された薄膜材料と、  
該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、  
該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、  
を有し、  
前記応答特性を評価する手段は、流体および／または計測環境の温度に対する温度補償機能を有することを特徴とする計測装置。

【請求項4】 流体に接すべく配置された薄膜材料と、  
該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、  
該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、  
を有し、  
前記パルス状の加熱を行う手段は、流体および／または計測環境の温度に対応した温度補償機能を有することを特徴とする計測装置。

【請求項5】 流体に接すべく配置された薄膜材料と、  
該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、  
該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、  
を有し、  
前記パルス状の加熱を行う手段は、流体および／または計測環境の温度変化に対する抵抗変化が無視できる抵抗発熱体よりなることを特徴とする計測装置。

【請求項6】 流体に接すべく配置された薄膜材料と、  
該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、  
該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、  
を有し、  
前記パルス状の加熱を行う手段は、流体および／または計測環境の温度変化に対する抵抗変化が10ppm以下の抵抗発熱体よりなることを特徴とする計測装置。

【請求項7】 流体に接すべく配置された薄膜材料と、  
該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、  
該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、  
を有し、

前記パルス状の加熱を行う手段は、流体および／または計測環境の温度変化に依らず概略一定の熱量を供給する機能を有することを特徴とする計測装置。

【請求項8】 請求項1乃至請求項7において、  
応答特性を計測する手段では、  
パルス状の加熱前に当該薄膜材料の温度に対応するパラメータを積算する動作と、  
パルス状の加熱以後に当該薄膜材料の温度に対応するパラメータを積算する動作と、  
前記2つの積算値の差を算出する動作と、  
が行われることを特徴とする計測装置。

【請求項9】 請求項1乃至請求項7において、  
薄膜材料は、  
300Kにおける熱伝導率を $K_s$ 、比熱を $C_s$ 、密度を $\rho_s$ 、その寸法を $L=1\text{mm}$ 角として、  
 $\tau = (C_s \rho_s L^2 / K_s \pi^2)$   
で示される値が0.2ミリ秒以下であることを特徴とする計測装置。

【請求項10】 請求項1乃至請求項7において、  
当該薄膜材料は、  
300Kにおける熱伝導率を $K_s$ 、比熱を $C_s$ 、密度を $\rho_s$ 、その寸法を $L=1\text{mm}$ 角として、  
 $\tau = (C_s \rho_s L^2 / K_s \pi^2)$   
で示される値が2ミリ秒以下であることを特徴とする計測装置。

【請求項11】 請求項1乃至請求項7において、当該薄膜材料はダイヤモンド薄膜であることを特徴とする計測装置。

【請求項12】 流体に接すべく配置された薄膜材料と、  
該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、  
該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、  
前記流体の温度に対応した出力を得る手段と、  
前記応答特性と前記流体の温度に対応した出力とから前記流体に関する情報を得る手段と、  
を有することを特徴とする計測装置。

【請求項13】 請求項12において、流体に関する情報は流体の流量または流速に関するものであることを特徴とする計測装置。

【請求項14】 請求項12において、流体に関する情報は流体の種類に関するものであることを特徴とする計測装置。

【請求項15】 請求項12において、流体に関する情報は流体中の不純物または流体中の不純物濃度に関するものであることを特徴とする計測装置。

【請求項16】 請求項12において、薄膜材料の応答特性は薄膜材料の温度変化として計測されることを特徴とする計測装置。

【請求項17】 請求項12において、  
応答特性を計測する手段では、

パルス状の加熱前に当該薄膜材料の温度に対応するパラメータを積算する動作と、  
パルス状の加熱以後に当該薄膜材料の温度に対応するパラメータを積算する動作と、  
前記2つの積算値の差を算出する動作と、  
が行われることを特徴とする計測装置。

【請求項18】請求項12において、  
薄膜材料は、

300Kにおける熱伝導率を $K_s$ 、比熱を $C_s$ 、密度を $\rho_s$ 、その寸法を $L=1\text{mm}$ 角として、  
$$\tau = (C_s \rho_s L^2 / K_s \pi^2)$$

で示される値が0.2ミリ秒以下であることを特徴とする計測装置。

【請求項19】請求項12において、  
当該薄膜材料は、

300Kにおける熱伝導率を $K_s$ 、比熱を $C_s$ 、密度を $\rho_s$ 、その寸法を $L=1\text{mm}$ 角として、  
$$\tau = (C_s \rho_s L^2 / K_s \pi^2)$$

で示される値が2ミリ秒以下であることを特徴とする計測装置。

【請求項20】請求項12において、パルス状の加熱を行う手段は、温度変化に対して抵抗値の変化の無視できる材料で構成された抵抗発熱体であることを特徴とする計測装置。

【請求項21】請求項12において、パルス状の加熱を行う手段は、温度変化に対して抵抗値の変化が10ppm以下の材料で構成された抵抗体であることを特徴とする計測装置。

【請求項22】請求項12において、パルス状の加熱を行う手段は、レーザー光を照射する手段であることを特徴とする計測装置。

【請求項23】流体に接すべく配置された薄膜材料と、  
該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、  
該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、  
を有し、  
前記パルス状の加熱を行う手段は、流体および／または計測環境の温度変化に依存せずに一定の熱量を供給する機能を有することを特徴とする計測装置。

【請求項24】流体に接すべく配置された薄膜材料と、  
該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、  
該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、  
前記発熱体の発熱量を制御するパラメータを流体および／または計測環境の温度変化に対応させて変化させる手段と、  
を有し、  
前記応答特性を計測する手段は温度補償を行う機能を有することを特徴とする計測装置。

【請求項25】流体に接すべく配置された薄膜材料と、

該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、  
該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、  
流体および／または計測環境の温度に対する温度補償を行い前記応答特性から前記流体の流量または流速を算出する手段と、  
を有することを特徴とする計測装置。

【請求項26】流体に接すべく配置された薄膜材料と、  
該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、  
該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、  
前記応答特性から前記流体の流量または流速を算出する手段と、  
を有し、  
前記流量または流速を算出する手段は、流体および／または計測環境の温度に対する温度補償機能を有することを特徴とする計測装置。

【請求項27】請求項23乃至請求項26において、  
応答特性を計測する手段では、  
パルス状の加熱前に当該薄膜材料の温度に対応するパラメータを積算する動作と、  
パルス状の加熱以後に当該薄膜材料の温度に対応するパラメータを積算する動作と、  
前記2つの積算値の差を算出する動作と、  
が行われることを特徴とする計測装置。

【請求項28】請求項23乃至請求項26において、  
当該薄膜材料は、  
300Kにおける熱伝導率を $K_s$ 、比熱を $C_s$ 、密度を $\rho_s$ 、その寸法を $L=1\text{mm}$ 角として、  
$$\tau = (C_s \rho_s L^2 / K_s \pi^2)$$
  
で示される値が0.2ミリ秒以下であることを特徴とする計測装置。

【請求項29】請求項23乃至請求項26において、  
当該薄膜材料は、  
300Kにおける熱伝導率を $K_s$ 、比熱を $C_s$ 、密度を $\rho_s$ 、その寸法を $L=1\text{mm}$ 角として、  
$$\tau = (C_s \rho_s L^2 / K_s \pi^2)$$
  
で示される値が2ミリ秒以下であることを特徴とする計測装置。

【請求項30】請求項23乃至請求項26において、当該薄膜材料はダイヤモンド薄膜であることを特徴とする計測装置。

【請求項31】請求項23乃至請求項26において、パルス状の加熱を行う手段として、レーザー光を照射する手段を用いることを特徴とする計測装置。

【請求項32】請求項23乃至請求項26において、パルス状の加熱を行う手段として、温度変化に対して抵抗値が変化しない材料で構成された発熱体を用いることを特徴する計測装置。

【請求項33】請求項23乃至請求項26において、パ

ルス状の加熱を行う手段は、温度変化に対して抵抗値の変化が10ppm以下の材料で構成された抵抗体であることを特徴とする計測装置。

【請求項34】流体に接すべく配置された薄膜材料と、該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、被計測パラメータが一定または概略一定の状態において、前記応答特性が一定または概略一定または一定の範囲内または概略一定の範囲内となるようにする手段と、を有することを特徴とする計測装置。

【請求項35】請求項34において、薄膜材料はダイヤモンド薄膜であり、パルス状の加熱を行う手段は前記ダイヤモンド薄膜に接して配置された抵抗発熱体であり、応答特性を計測する手段は、前記ダイヤモンド薄膜に接して配置された测温抵抗体によって、パルス状の加熱に際するダイヤモンド薄膜の温度変化を計測する機能を有し、

被計測パラメータは流体の流量であり、応答特性が一定または概略一定または一定の範囲内または概略一定の範囲内となるようにする手段は、流量一定かつ前記応答特性が一定または概略一定または一定の範囲内または概略一定の範囲内となる条件における流体および／または計測環境の温度と前記抵抗発熱体に供給する電圧との関係に基づいて、流体および／または計測環境の温度に対応した電圧を前記抵抗発熱体に供給する機能を有していることを特徴とする計測装置。

【請求項36】請求項34において、被計測パラメータは流体の流量であることを特徴とする計測装置。

【請求項37】請求項34において、被計測パラメータは流体に含まれる所定の成分に関するものであることを特徴とする計測装置。

【請求項38】請求項34において、応答特性が一定または概略一定または一定の範囲内または概略一定の範囲内となるようにする手段は、パルス状の加熱を行う手段の発熱量を制御して、前記応答特性が一定または概略一定となるようにする機能を有することを特徴とする計測装置。

【請求項39】請求項34において、応答特性を計測する手段では、パルス状の加熱前に当該薄膜材料の温度に対応するパラメータを積算する動作と、パルス状の加熱以後に当該薄膜材料の温度に対応するパラメータを積算する動作と、前記2つの積算値の差を算出する動作と、が行われることを特徴とする計測装置。

【請求項40】請求項34において、当該薄膜材料は、300Kにおける熱伝導率を $K_s$ 、比熱を $C_s$ 、密度を

$\rho_s$ 、その寸法を $L=1\text{mm}$ 角として、

$$\tau = (C_s \rho_s L^2 / K_s \pi^2)$$

で示される値が2ミリ秒以下であることを特徴とする計測装置。

【請求項41】請求項34において、

当該薄膜材料は、

300Kにおける熱伝導率を $K_s$ 、比熱を $C_s$ 、密度を $\rho_s$ 、その寸法を $L=1\text{mm}$ 角として、

$$\tau = (C_s \rho_s L^2 / K_s \pi^2)$$

で示される値が0.2ミリ秒以下であることを特徴とする計測装置。

【請求項42】請求項34において、

薄膜材料はダイヤモンド薄膜であることを特徴とする計測装置。

【請求項43】請求項34において、

応答特性が一定または概略一定または一定の範囲内または概略一定の範囲内となるようにする手段は、薄膜材料に対してパルス状の加熱を行う手段が当該薄膜材料に供給する熱量を変化させるパラメータを制御して、前記応答特性を一定または概略一定または一定の範囲内または概略一定の範囲内なものとする機能を有することを特徴とする計測装置。

【請求項44】請求項43において、

パルス状の加熱を行う手段は抵抗発熱体であり、熱量を変化させるパラメータは前記抵抗発熱体に加えられる電圧であることを特徴とする計測装置。

【請求項45】流体に接すべく配置された薄膜材料と、

該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、

該手段による加熱に従う前記薄膜材料の温度変化を計測する手段と、

前記流体の温度に対応した出力を得る手段と、

を有することを特徴とする計測装置。

【請求項46】請求項45において、

薄膜材料は半導体材料であり、

パルス状の加熱を行う手段および／または温度変化を計測する手段は、前記薄膜材料中または前記薄膜材料の表面に形成された一導電型を有する半導体層であることを特徴とする計測装置。

【請求項47】請求項45において、

薄膜材料はダイヤモンド薄膜であることを特徴とする計測装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、薄膜材料が受ける流体からの熱的な影響を定量的に評価する計測装置に関する。例えば、以下に示す項目の少なくとも一つのことを行う装置に関する。

- (1) 流体の流量または流速の計測。
- (2) 流体の熱伝導率や比熱の計測。
- (3) 流体の識別。

(4) 複数の流体の混合比の計測。

(5) 流体中に含まれる物質の濃度の計測（例えば湿度の計測）。

【0002】

【従来の技術】流量を計測する装置（流量センサー）として、サーミスタを利用したものが知られている。これは、直接あるいは間接的に加熱されたサーミスタから流体によって熱量が奪われることによって、サーミスタ部分の温度が低下することを利用したものである。一般にサーミスタ部分が流体に接していると、サーミスタ部分から奪われる熱量は、流量（または流速）に依存するため、サーミスタからの出力と流量とはある相関関係を持つ。このことを利用して、サーミスタの出力より、流量を算出することができる。

【0003】流量とは、流体の流れのなかにある一定の面積を持つ断面を考え、この断面を通して流れる流体の体積または質量の時間に対する割合として定義される。一般に流れる流体の体積の時間に対する割合を体積流量（または容積流量）といい、流れる流体の質量の時間に対する割合を質量流量という。

【0004】体積流量は、流体の断面積と流速との積で決まる。例えば、内径  $r$  の円形パイプ内を流速  $v$  の流体が流れているとするならば、 $v \pi r^2$  が体積流量になる。従って、流体の断面積が分かっているのならば、流量と流速は同時に求めることができる。

【0005】また質量流量は、体積流量と流れる流体の密度によって表される。例えば、内径  $r$  の円形パイプ内を密度  $\rho$  の流体が流速  $v$  で流れているとするならば、 $\rho v \pi r^2$  が質量流量になる。

【0006】一般にサーミスタは、大きな負の温度係数を有する半導体のことをいう。しかし、本来サーミスタとは、熱に敏感な抵抗体（Thermally Sensitive Resistor）のことであり、特に温度係数の正負や材料によって限定されるものではない。従って、正の温度係数を有する白金等の金属をサーミスタと称してもよい。

【0007】サーミスタのように、温度によって抵抗が変化する材料を用いた素子を総称して、測温抵抗体や温度感知素子、さらには感温素子や抵抗温度計という。また、温度によって抵抗が変化する材料のことをサーミスタ機能を有する材料ということもできる。以下においては、温度によって抵抗が変化する材料のことを測温抵抗体という。

【0008】薄膜の測温抵抗体を用いた流量計測装置は、境界層質量流量計または Thermal Mass-Flow Meters of the Boundary-Type と称され、Sensor A Comprehensive Survey Volume 4 (W. Gopel, J. Hesse, J. N. Zemel 著、VCH (Verlagsgesellschaft mbH) 社発行(1990)) の第328頁 9.2.3以下にその詳細が記載されている。

【0009】上記文献にも記載されている測温抵抗体を使用した代表的な流量計測装置の概要を図10に示す。

図10に示す構成は、測温抵抗体301と302、さらには抵抗303と304で構成されたブリッジを有している。

【0010】図10に示す構成においては、2つの測温抵抗体301と302との温度差を一定に保つために、2つの測温抵抗体の抵抗値が微妙に調整されたものを用いる。例えば、測温抵抗体302の抵抗値を測温抵抗体301の抵抗値の10倍程度としたものを用いる。

【0011】実際の動作に当たっては、バイアス電流を流すことによって測温抵抗体301と302を加熱し、またアンプ305からのフィードバックを掛けることにより、測温抵抗体301と302との温度差が一定なものとなるようにする。即ち、アンプ305を用いた適当なフィードバックを掛けることにより、測温抵抗体301、302、さらには抵抗303、304で構成されるブリッジのバランスが常にとれる状態とする。

【0012】測温抵抗体301（抵抗値  $R_1$ ）と302（抵抗値  $R_2$ ）との抵抗値の温度依存特性が同じ場合には、流体の温度変化に対して  $(R_1 / R_2)$  の値は変化しない。従って、ブリッジのバランスは崩れない。この結果、アンプ305から掛かるフィードバックの値も変化しない。

【0013】一方、流体307の流量が変化した場合には、そのままでは  $(R_1 / R_2)$  の値は流量に従って変化する。そこで、2つの測温抵抗体の温度差が一定となるように適当なフィードバックを掛けることで、図10に示すブリッジのバランスをとることができる。

【0014】この時、アンプ305を用いて掛けられるフィードバックの値は、流量に依存したものとなる。また前述のようにこの値は流体の温度には依存しない。従って、アンプ305の出力を検出することで、流体307の流量を得ることができる。

【0015】図10に示すような構成においては、計測感度とダイナミックレンジ、さらに温度補償機能を高めるために、2つの測温抵抗体はかなりの高温に加熱される。一般には、2つの測温抵抗体の温度差は数10℃～100℃程度となるように設定される。

【0016】上記図10に示すような流量センサーは、実用化する際において以下に示すような問題がある。

〔従来技術の問題点その1〕高い感度やダイナミックレンジを得るためには、測温抵抗体を高い温度に加熱する必要があるが、測温抵抗体を高い温度に加熱する構造とした場合、素子の熱的安定性を高める必要から、構造が複雑となり、生産コストが高くなる。

〔従来技術の問題点その2〕上記第1の問題点に関係して、大量生産する場合における特性のバラツキが生じ易くなってしまう。特に微妙なDCバランスをとる必要から、特性の差が生じ易く、作製における許容度が極めて小さい。

〔従来技術の問題点その3〕直流の電圧を加えて測温抵

抗体を高い温度に加熱する場合、その消費電力が大きくなってしまふ。

〔従来技術の問題点その4〕計測値の絶対値が計測時間の経過とともにドリフトしてしまうという原理的な問題がある。

【0017】上記の第1および第2の問題点は、測温抵抗体の微小な熱量の移動に対する応答性が悪いことに起因して、・測温抵抗体をできるだけ高い温度に加熱し、計測感度およびダイナミックレンジを確保する必要がある。・2つその測温抵抗体間の温度差をできるだけ大きくして、計測感度およびダイナミックレンジを確保する必要がある。といった構成を採る必要があるために生じるものと考えられる。

【0018】上記第1および第2の問題点は、測温抵抗体の感度を高める程、顕著なものとなる。即ち、計測感度を高めようとする、顕在化する。これは基本的に解決困難な問題である。

【0019】上記第3の問題点は、装置全体の消費電力を小さくしようとする場合に重要となる。特に、バッテリーを電源として装置を駆動しようとする場合に大きな問題となる。この消費電力の問題を解決する方法としては、素子そのものを極めて小さく作り、その消費電力を小さくする方法がある。しかし、熱的な動作を行わせる場合、その形状を小さくすることは、素子の特性のバラツキが生じ易くなる原因となり、実用性が大きく低下することになる。

【0020】上記第4の問題点は、図10に示すような構成において、流体307の流量値が一定であっても、出力される流量値が、徐々に変動してしまうという現象である。この現象は、図10に示すようなブリッジ回路を採用した場合、相対的な感度を確保することができても、計測値の絶対値を確定することができないということに起因する。この変動は直流ドリフト成分として、流量の計測値に表れてしまい、正確な流量計測を大きく阻害してしまう。

【0021】この直流ドリフトの問題を解決する方法としては、複雑な補正回路を設けたり、デジタル処理を加えることにより補正する方法等がある。しかしこれはコストの上昇や装置の信頼性低下を招くことになるため、実用的ではない。

【0022】

〔発明が解決しようとする課題〕本明細書で開示する発明は、比較的シンプルな構成で、以下の機能を少なくとも一つ有する装置を提供することを課題とする。

(1) 直流ドリフトが無く、また温度の影響を受けずに、また低消費電力でもって、高感度、高ダイナミックレンジの流量計測を行う。

(2) 直流ドリフトが無く、また温度の影響を受けずに流体の識別を行う。

(3) 直流ドリフトが無く、また温度の影響を受けずに複

数の流体の混合比の計測を行う。

(4) 直流ドリフトが無く、温度の影響を受けずに流体中に含まれる物質の濃度の計測（例えば温度の計測）を行う。

【0023】

〔課題を解決するための手段〕以下において本明細書で開示する主要な発明の構成について説明する。なお、各発明の構成において重複する構成要素はそれぞれ同じ内容を示す。即ち、複数の発明の構成において、同じAという構成要素が存在する場合、それらは同じ技術範囲、同じ技術内容を有する。

【0024】また、本明細書で開示する発明を構成する各構成要素は、本明細書中において説明する具体的な例示に限定されるものではなく、各構成要素で規定される機能を有するものであれば、他の構成要素に置換可能である。

【0025】本明細書で開示する主要な構成の一つは、流体に接すべく配置された薄膜材料と、該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、前記流体の温度に対応した出力を得る手段と、を有することを特徴とする。

【0026】上記構成において、薄膜材料としては、ダイヤモンド薄膜、窒化アルミ薄膜、立方晶窒化ホウ素薄膜、その他高熱伝導率を有し、かつ低比熱を有する薄膜材料を挙げることができる。特にダイヤモンド薄膜や窒素系の硬質薄膜を用いることは有効である。

【0027】本明細書で開示する発明における流体としては、気体、液体、霧状流体（噴霧化された流体、または固体粉体を含む気体や液体）、さらには液晶のような材料等の流動性を有する材料を挙げることができる。

【0028】パルス状の加熱（発熱）を行う手段としては、薄膜材料に接して設けられた抵抗発熱体を挙げることができる。抵抗発熱体としては、各種金属薄膜を用いることができる。抵抗発熱体をパルス状に発熱させるには、適当なタイミングで抵抗発熱体に所定の電圧を加えるまたは所定の電流を流せばよい。

【0029】また上記パルス状の加熱を行う手段として、一導電型の半導体を用いるのもよい。この場合、薄膜材料として半導体材料を用い、その薄膜中またはその薄膜表面に一導電型を付与する不純物イオンをドーピングすることにより、抵抗体を形成すればよい。また上記パルス状の加熱を行う手段として、当該薄膜材料上に一導電型を有する半導体材料で抵抗発熱体を形成するのでもよい。

【0030】パルス状の加熱に従う薄膜材料の応答特性を計測する手段としては、薄膜材料に接した測温抵抗体（例えば白金薄膜）の抵抗変化を適当な電子回路で計測する方法を挙げることができる。この場合、薄膜材料の応答特性は、パルス状の加熱に対する薄膜材料自身の温



度変化として測温抵抗体によって計測される。

【0031】上記測温抵抗体としては、一導電型を有する半導体材料を用いるのでもよい。この場合、当該薄膜材料上に、一導電型を有する半導体材料を選択的に形成し、測温抵抗体とすればよい。また当該薄膜材料を半導体材料で構成し、この半導体よりなる薄膜材料中またはその表面に一導電型を付与する不純物イオンを注入し、測温抵抗体を形成してもよい。

【0032】図5に実際にダイヤモンド薄膜に対してパルス状の加熱を行った場合の応答特性（ダイヤモンド薄膜の温度変化）を示す。図5に示されるのは、ダイヤモンド薄膜がパルス状の加熱によって急速に加熱され、加熱終了後に冷却していく様子である。図5に示す波形は、ダイヤモンド薄膜に接して配置された白金薄膜の抵抗変化（ダイヤモンド薄膜の温度変化に対応する）をバイアス電流の変化として出力し、さらにI/V変換を行うことにより、電圧変化とし、それをオシロスコープに表示したものである。

【0033】図5に示されているのは、パルス状の加熱に対するダイヤモンド薄膜の過渡応答特性であると理解することができる。この過渡応答特性は、例えば当該薄膜材料に接して流れる流体の流量に依存している。従って、この過渡応答特性を定量的に評価することによって、当該薄膜材料に接して流れる流体の流量を算出することができる。

【0034】なお、図5においては2つの応答波形が示されているが、それぞれの応答波形は、同じパルス状の加熱の条件において、流量を変えた場合のものである。応答波形の大きい方は、流量がゼロの場合のものであり、応答波形の小さい方は、流量がある場合のものである。

【0035】この2つの応答波形の違いは、以下のように考えることによって理解することができる。即ち、流量が存在する場合は、ダイヤモンド薄膜から流体に多く熱量が奪われるので、パルス状の加熱に際して、ダイヤモンド薄膜が加熱されにくく、また冷却され易い。逆に、流量が存在しない場合は、ダイヤモンド薄膜から流体に熱量があまり奪われないので、パルス状の加熱に際して、ダイヤモンド薄膜が加熱され易く、また冷却されにくい。

【0036】このパルス状の加熱に対する薄膜材料の応答特性は、応答特性を計測する手段において、（1）パルス状の加熱前に当該薄膜材料の温度に対応するパラメータを積算する動作と、（2）パルス状の加熱以後に当該薄膜材料の温度に対応するパラメータを積算する動作と、（3）前記2つの積算値の差を算出する動作と、が行われることによって実行される。

【0037】この動作の具体的な例を図4を用いて説明する。図4は図5に対応するものであり、薄膜材料の温度に対応する測温抵抗体からの出力fの時間経過に対す

る変化である。この出力fとしては、薄膜材料に接して配置された測温抵抗体の抵抗値の変化に対応するパラメータである。一般的には、このfとして、測温抵抗体の抵抗値の変化を、測温抵抗体を流れる電流値の変化として検出し、さらにI/V変換を施すことにより電圧変化とした値が用いられる。

【0038】まずパルス状の加熱が行われる以前である $t_0$ から $t_0 + \Delta t_0$ の間において、出力fを積算する。この積算は、下記【数式1】で示される。この【数式1】で計算される値は、図4の斜線部41の面積に対応する。以上が上記（1）の動作に対応する。

【0039】

【数1】

$$S_0 = \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t_0} f(t) dt \quad \text{数式1}$$

【0040】次に $t_1$ から $t_1 + \Delta t_1$ の時間の間に行われるパルス状の加熱に従う薄膜材料の温度変化（42で示されるように急速にその温度が上昇し、43で示されるように冷却される）を $t_2$ から $t_2 + \Delta t_2$ の時間において積算する。この積算は、下記【数式2】で示される。以上が上記（2）の動作に対応する。

【0041】

【数2】

$$S_2 = \int_{t_2}^{t_2 + \Delta t_2} f(t) dt \quad \text{数式2}$$

【0042】次に【数式1】の演算の結果と【数式2】の演算の結果との差を下記【数式3】で示される数式に従って算出する。この【数式3】の演算の結果は、図4の斜線部44の面積に対応する。以上が上記（3）の動作に相当する。

【0043】

【数3】

$$S = S_2 - (\Delta t_2 / \Delta t_0) S_0 \quad \text{数式3}$$

【0044】上記（1）～（3）の動作を行うことで、パルス状の加熱に対する薄膜材料の応答特性を正確に評価することができる。即ち、（1）の動作を行うことで、パルス状の加熱が行われる毎に、常にパルス状の加熱直前におけるダイヤモンド薄膜の温度を基準として確定させることになるので、計測されるパルス状の加熱に際する薄膜材料の過渡応答特性には、直流ドリフト成分が含まれないものとすることができる。この過渡応答特性の計測値は、図4の斜線部44で示される領域の面積に対応する。

【0045】この過渡応答特性の評価結果（【数式3】の演算結果）は、例えば流体の流量や流体の温度、さらには流体の種類や不純物濃度に関する情報を含んでい

る。

【0046】「前記流体の温度に対応した出力を得る手段」というのは、被計測対象である流体の温度を計測する機能を有する手段のことであり、例えば適当な温度計として機能する手段である。具体的には、公知の測温抵抗体（一般に各種サーミスタとして市販されている）を用いることができる。

【0047】以上説明した構成の具体的な例を図1及び図2に示す。図1及び図2において、13が流体202に接すべく配置された薄膜材料（この場合は多結晶ダイヤモンド薄膜）である。11がダイヤモンド薄膜13にパルス状の加熱を行う手段（抵抗発熱体）であり、ここではダイヤモンド薄膜表面に形成された白金薄膜で構成されている。発熱体11から行われるパルス状の加熱に対するダイヤモンド薄膜13の応答特性は、アンプ105で増幅され、A/Dコンバータ106でデジタル信号に変換され、CPU107において処理される。

【0048】これらアンプ105、A/Dコンバータ106、CPU107は、ダイヤモンド薄膜13の応答特性を計測する手段を構成しているといえる。そしてこのCPU107において、〔数式1〕～〔数式3〕に示すような演算が行われる。ここでは、応答特性を計測する手段として、アンプ105、A/Dコンバータ106、CPU107でなる構成を挙げたが、他に半導体メモリや必要とする構成を付加することができる。またこの応答特性を計測する手段としては、図1及び図2に示す構成と同様の機能を果たすことのできる構成を採用するのでもよい。

【0049】なお111は流体に接した測温抵抗体であり、流体202の温度に対応した出力を得る手段を構成している。この測温抵抗体111からの出力と、〔数式3〕の結果とを用いて、CPU107において所定の演算が行われ、流体の温度に対する温度補償が成された流量計測値が算出される。

【0050】他の発明の構成は、流体に接すべく配置された薄膜材料と、該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、を有し、前記応答特性を評価する手段は、流体および／または計測環境の温度に対する温度補償機能を有することを特徴とする。

【0051】上記構成において、温度補償機能というのは、目的とする計測を行う場合に、温度の影響を排除する機能、または温度の影響を受けない計測値を得る機能、または温度の影響を受けた計測値を適性なものに補正する機能、として定義することができる。

【0052】この温度補償機能の詳細については後述する。また、上記応答特性を評価する手段で行われる評価方法（動作方法または動作形態）についても後述する。

【0053】他の発明の構成は、流体に接すべく配置された薄膜材料と、該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手

段と、該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、該手段で計測された応答特性を評価する手段と、を有し、前記パルス状の加熱を行う手段は、流体および／または計測環境の温度に対応した温度補償機能を有することを特徴とする。

【0054】上記構成において、パルス状の加熱を行う手段が流体および／または計測環境の温度に対応した温度補償機能を有するというのは、この加熱手段が温度の影響に依らない、または温度の影響を大きく受けない応答特性（パルス状の加熱に対する薄膜材料の過渡応答特性）が得られるように加熱を行う機能を有するということを意味する。

【0055】このような温度補償機能の例としては、パルス状の加熱（発熱）を行う手段としてコンスタンタン等の温度による抵抗の変化の極力小さい材料を用いる例を挙げることができる。このような温度による抵抗の変化が極力小さい材料としては、その抵抗値の変化が使用温度範囲内において、10ppm以下であることが好ましい。

【0056】このように温度に対する抵抗値の変化が極力少ない材料をパルス状の加熱を行う手段として用いた場合、パルス状の加熱に際して、流体の温度変化にほとんど寄らずに一定の熱量で加熱を行うことができる。そして、流体の温度変化の影響を大きく低減して流量計測を行うことができる。（この点については〔作用の項〕で詳述する）

【0057】また流体の温度に寄らず、一定の熱量で薄膜材料を加熱する方法としては、レーザー光を当該薄膜材料に照射する方法を挙げることができる。この場合、レーザー光の発振装置が温度変化の影響を受けない、または受けにくいものであるならば、常に一定の熱量をパルス状の加熱に際して当該薄膜材料に供給することができる。

【0058】また上記パルス状の加熱を行う手段が有する温度補償機能として、発熱体が発熱する熱量を流体および／または計測環境の温度に従って変化させる構成を挙げることができる。例えば、流体の温度を検出する測温抵抗体からの出力を適当なゲイン調整を施して発熱体にフィードバックさせ、発熱体からの発熱量を流体の温度に対応させて変化させる構成や、流体の温度を検出する測温抵抗体からの出力に基づいて、CPUにおいて抵抗発熱体に供給する電圧を決定し、この抵抗発熱体からの発熱量を流体の温度に従って変化させる機能を挙げることができる。

【0059】例えば、図11に示す構成のように、流体に接した測温抵抗体111の出力を参照して発熱体11を制御する電圧をCPU107において決定する構成を挙げることができる。

【0060】上記構成は、前述の発熱体の発熱量または発熱体からの薄膜材料へ供給する熱量を一定なものとする

るという構成と一件矛盾する。しかし、これらは温度補償を行うための異なるアプローチであり、程度の差はあれ、共に効果が得られる構成である。なお、温度補償機能としてより効果的なのは、後者の発熱体が発熱する熱量を流体および／または計測環境の温度に従って変化させる構成である。

【0061】他の発明の構成は、流体に接すべく配置された薄膜材料と、該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、前記流体の温度に対応した出力を得る手段と、前記応答特性と前記流体の温度に対応した出力とから前記流体に関する情報を得る手段と、を有することを特徴とする。

【0062】上記構成において、「前記応答特性と前記流体の温度に対応した出力とから前記流体に関する情報を得る手段」というのは、流体の温度に対応した出力を参照することで、温度補償がなされた形で流体に関する情報を得る機能を有する。流体に関する情報としては、流体の流量や流速に関するもの、流体の種類に関するもの、2種類の流体が混合した流体の混合比に関するもの、流体中の不純物の有無やその濃度に関するもの等を挙げることができる。

【0063】他の発明の構成は、流体に接すべく配置された薄膜材料と、該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、を有し、前記パルス状の加熱を行う手段は、流体および／または計測環境の温度変化に依存せずに一定の熱量を供給する機能を有することを特徴とする計測装置。

【0064】他の発明の構成は、流体に接すべく配置された薄膜材料と、該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、前記発熱体の発熱量を制御するパラメータを流体および／または計測環境の温度変化に対応させて変化させる手段と、を有し、前記応答特性を計測する手段は温度補償を行う機能を有することを特徴とする。

【0065】上記構成において、発熱体の発熱量を制御するパラメータを流体および／または計測環境の温度変化に対応させて変化させる手段としては、図8に示すような構成を挙げることができる。図8に示す構成においては、白金薄膜よりなる抵抗発熱体811に供給する電圧を同じく白金薄膜よりなる測温抵抗体804の抵抗値の変化（この抵抗値の変化はブリッジ2の出力変化となる）によって制御する構成となっている。

【0066】測温抵抗体804は流体に接して配置されたダイヤモンド薄膜805の表面に形成されており、流体の温度に対応してその抵抗値が変化する。そしてその抵抗変化は、ブリッジ2にアンバランスを生じさせる。このブリッジ2のアンバランス（ブリッジ2の出力とい

うこととする）はアンプ812で電圧増幅され、ダイヤモンド薄膜809の表面に形成された発熱体811を駆動する。この際、発熱体811に供給される電圧は、測温抵抗体804が検出する流体の温度を反映したものとなる。即ち、発熱体811には、流体の温度に対応した電圧（発熱体811の発熱量を制御するパラメータ）が供給されることとなる。

【0067】また図8に示す構成においては、CPU815によって、発熱体811からのパルス状の加熱に対するダイヤモンド薄膜809の応答特性が計測される。この応答特性の計測は、前述した図4に示す方法による。さらにCPU815においては、この応答特性の計測値（応答特性を定量的に評価した結果）と流体の温度に対応した抵抗値変化を示す測温抵抗体819からの出力とを用いて、流体の温度を補償した形で流量値の算出がなされる。

【0068】また、発熱体の発熱量を制御するパラメータを流体および／または計測環境の温度変化に対応させて変化させる手段としては、図11及び図12に示す構成を挙げることができる。図11及び図12に示す構成においては、測温抵抗体111で検出される流体202の温度と、メモリー1102に記憶されている情報とに基づいて、CPU107によって、発熱体11に供給される電圧が制御される。

【0069】他の発明の構成は、流体に接すべく配置された薄膜材料と、該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、流体および／または計測環境の温度に対する温度補償を行い前記応答特性から前記流体の流量または流速を算出する手段と、を有することを特徴とする。

【0070】上記構成における「流体および／または計測環境の温度に対する温度補償を行い前記応答特性から前記流体の流量または流速を算出する手段」としては、図1に示す構成を挙げることができる。図1及び図2に示す構成においては、ダイヤモンド薄膜13のパルス状の加熱に対する応答特性の評価結果（前述した図4に示す方法によってCPU107で行われる）と、流体202に接して配置された測温抵抗体111の抵抗変化とに基づいて、CPU107において、流体202の温度を補償した形で流体202の流量が算出される。

【0071】なお測温抵抗体111の代わりにまたはそれに加えて、計測環境の温度を検出するように別の測温抵抗体を配置することで、計測環境の温度に対する補償をも行う構成とすることもできる。

【0072】他の発明の構成は、流体に接すべく配置された薄膜材料と、該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、前記応答特性から前記流体の流量または流速を算出する手段と、を有し、前記流量または流

速を算出する手段は、流体および／または計測環境の温度に対する温度補償機能を有することを特徴とする。

【0073】上記構成における「流量または流速を算出する手段は、流体および／または計測環境の温度に対する温度補償機能を有する」という構成としては、例えば図1及び図2に示す構成を挙げることができる。

【0074】図1及び図2に示す構成においては、CPU107において、流体202の温度に対応した抵抗変化を行う測温抵抗体111の抵抗変化と、発熱体11によるパルス状の加熱に対するダイヤモンド薄膜13の応答特性とに基づいて、流体202の温度を補償した形で流体202の流量が算出される。

【0075】他の発明の構成は、流体に接すべく配置された薄膜材料と、該薄膜材料にパルス状の加熱を行う手段と、該手段による加熱に従う前記薄膜材料の応答特性を計測する手段と、被計測パラメータが一定または概略一定または一定の範囲内または概略一定の範囲内となるようにする手段と、を有することを特徴とする。

【0076】上記構成において、被計測パラメータとしては、流体の流量に関するもの、流体の種類に関するもの、流体に含まれる特定の成分の割合に関するもの、2種類の流体の混合比に関するもの、流体を空気としてその湿度に関するもの等を挙げることができる。

【0077】上記構成において、「被計測パラメータが一定または概略一定の状態において、前記応答特性が一定または概略一定または一定の範囲内または概略一定の範囲内となるようにする手段」としては、図11に示す構成を挙げることができる。図11においては、被計測パラメータとして流体の流量が採用される。図11に示す構成においては、少なくとも測温抵抗体111とCPU107と半導体メモリー1102とでもって、上記手段が構成されている。

【0078】半導体メモリーには、ダイヤモンド薄膜13に接して流れる流体の流量（被計測パラメータとなる）が一定の値 $F_i$ （例えば流量0）の場合において、発熱体11からのパルス状の加熱に際するダイヤモンド薄膜の応答特性（図4の44で示される面積として評価される） $S_i$ が一定となるような、測温抵抗体で検出される流体の温度 $T_i$ と発熱体11（抵抗発熱体）に供給される電圧 $V_i$ との組み合わせが記憶されている。この記憶内容は例えば下記表5で示される。

【0079】

【表5】

$V_1$	$T_1$	$S_1$	$F_1$
$V_2$	$T_2$	$S_1$	$F_1$
$V_3$	$T_3$	$S_1$	$F_1$
$V_4$	$T_4$	$S_1$	$F_1$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$V_n$	$T_n$	$S_1$	$F_1$

【0080】表5の意味するところは、測温抵抗体111が検出した流体の温度 $T_i$ に対して、対応する電圧 $V_i$ でもって、発熱体11を加熱すれば、所定の流量 $F_i$ に対して常に一定の応答特性 $S_i$ が得られるということである。

【0081】また別な見方をすれば、所定の流量に対して一定に応答特性を得るためには、表5に示されるように流体の温度 $T_i$ の値に対応した電圧 $V_i$ で発熱体11に電圧を供給すればよいということである。

【0082】即ち、表5に示されるデータに従って、発熱体11を所定の電圧 $V_i$ で発熱させることによって、流体の温度 $T_i$ に寄らずに、被計測パラメータが一定または概略一定の状態において、パルス状の加熱に対するダイヤモンド薄膜の応答特性を一定または概略一定となるようにすることができる。

【0083】この結果、パルス状の加熱に対するダイヤモンド薄膜の応答特性が流量に対応したものとなり、温度補償を行った状態で流量の計測を行うことができる。

【0084】ここで例示する図11に示す構成においては、 $T_i$ として流体の温度を使用している。しかし、計測環境の温度の影響が支配的であるならば、 $T_i$ として計測環境の温度を使用してもよい。また、流体の温度と計測環境の両方の温度を用いてもよい。

【0085】ここでは、流体の温度変化に対して補償を行う構成を挙げて説明を行った。しかし、補償の対象を流体の温度ではなく、流体の圧力等の他のパラメータとすることも可能である。この場合、表5に示すようなデータとして、流体の圧力等の他のパラメータの値（表5の $T_i$ に対応する）に対して、どのような値の電圧を発熱体11に加えればよいかというデータを予め求め、半導体メモリー1102に記憶させておけばよい。また測温抵抗体111の代わりに圧力センサーを配置すればよい。

【0086】パルス状の加熱に対する薄膜材料の応答特性を一定なものとする手段としては、パルス状の加熱を行う手段の発熱量を制御する方法を挙げることができる。この方法の具体的な例としては、パルス状の加熱を行う手段として、当該薄膜材料に接して配置された抵抗発熱体を用い、この発熱体が発生する発熱量を加える電圧を変化させることによって制御する例を挙げることが

できる。

【0087】また、パルス状の加熱に対する薄膜材料の応答特性を一定なものとする手段としては、パルス状の加熱を行う手段が当該薄膜材料に供給する熱量を変化させるパラメータを制御する方法を挙げることができる。

【0088】このパラメータを制御する方法の1例としては、パルス状の加熱を行う手段として、当該薄膜材料に接して配置された抵抗発熱体を用い、この発熱体に供給する電圧を制御する例を挙げることができる。

【0089】また上記パラメータを制御する方法の他の例としては、パルス状の加熱を行う手段として、当該薄膜材料にレーザー光を照射する手段を用い、このレーザー光の照射エネルギー密度を制御する構成を挙げることができる。

【0090】以上説明した本明細書で開示する主要な発明の構成において用いられる薄膜材料としては、気相法(CVD法)で成膜されるダイヤモンド薄膜を用いることが最も好ましい。ダイヤモンド薄膜は他の諸材料に比較して熱伝導率が高く、また比熱が小さいので、パルス状の加熱に対して高感度に応答する。また、本明細書で開示する発明に用いられる程度のダイヤモンド薄膜(即ち、単結晶でなくてもよいという意味)の場合、その作製方法が確立されており、産業的に大きな困難はないという有用性がある。

【0091】後述の実施例で詳述するように、実際に本明細書で開示する発明を用いて流量計測センサーを作製した場合、ダイヤモンド薄膜を当該薄膜材料として用いることで、顕著な効果を得ることができる。

【0092】ダイヤモンド薄膜以外に利用できる材料としては、窒化アルミニウムや立方晶窒化ホウ素を用いることが有用であるが、作製が困難であるという問題がある。また単結晶珪素や炭化珪素を用いることもできる

が、計測精度や流量を計測する場合の計測範囲(ダイナミックレンジ)が狭くなるという難点がある。

【0093】本明細書で開示する発明において用いることのできる薄膜材料としては、下記〔数式11〕で示される時定数 $\tau$ が0.2ミリ秒以下であることが望ましい。この条件を満足することで、熱伝導率が1000(Wm/K)の多結晶ダイヤモンド薄膜を用いた場合と同程度以上の特性を有する流量計測装置を得ることができる。

【0094】

〔数11〕

$$\tau = (C_s \cdot \rho_s \cdot L^2 / K_s \cdot \pi^2) \quad \text{数式11}$$

【0095】上記〔数式11〕で求められる時定数 $\tau$ は、薄膜の測温抵抗体センサーが熱的に応答する時間を定量的に評価するためのパラメータであり、Sensors and Actuators, A21-A23(1990)425-430に記載されている計算式である。

【0096】本発明者らの知見によれば、この〔数式11〕は薄膜材料が加熱に際してどれほどの時間で応答するかを示す目安として利用することができる。即ち、

〔数式11〕に示される時定数 $\tau$ が小さい程、薄膜材料が加熱に対して速い速度で応答するものと理解することができる。またこの時定数 $\tau$ が小さい程、周囲の熱的な影響を受けやすいものと理解することができる。即ち、この時定数 $\tau$ が小さい程、熱的に敏感であると考えることができる。

【0097】上記〔数式11〕で示される時定数が各種材料においてどのような値をとるか調べたものを下記表4に示す。

【0098】

〔表4〕

材料名	熱伝導率 $K_s$ (W/mK)	比熱 $C_s$ (J/KgK)	密度 $\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> )	時定数 $\tau$ (ミリ s)
ダイヤモンド薄膜	1000	530	3510	0.2
単結晶シリコン	148	767	2331	1.2
アルミナ( $Al_2O_3$ )	36	838	3990	9.4
サイアロン	22	754	3000	10.4
窒化珪素( $Si_3N_4$ )	34	712	3180	6.8
炭化珪素(SiC)	84	419	3000	1.5
立法晶窒化ホウ素 (c-BN)	1300	838	3480	0.2
窒化アルミ(AlN)	350	750	3260	0.8

・試料は $L = 1\text{ mm}$ 角とする。

・対象は薄膜状のものとし、厚さは考慮しない。

・下記の式によって薄膜材料の熱的な応答特性(時定数)を評価する。

$$\tau = (C_s \cdot \rho_s \cdot L^2 / K_s \cdot \pi^2)$$

【0099】上記表4に示されるのは、各種薄膜材料の300Kにおける物性値に基づいて、上記〔数式11〕で示される時定数を計算した結果である。なお各材料の物性値は、できる限り薄膜材料のものを用いている。なお立法晶窒化ホウ素の物性値は、理想的な値であり、実際に得られる値(実際に立法晶窒化ホウ素の薄膜を得ることは困難である)とは異なる値である。実際に得られる立法晶窒化ホウ素薄膜の時定数 $\tau$ はさらに大きなものになると考えられる。

【0100】後に実施例で詳述するように、本明細書で開示する発明における薄膜材料として、ダイヤモンド薄膜を用いた場合、流量センサーとして顕著な特性を得ることができることが判明している。ダイヤモンド薄膜を用いた場合に顕著な特性を得ることができるのは、上記〔数11〕によって算出される時定数 $\tau$ が、上記〔表4〕に示されるように、他の薄膜材料に比較して顕著に小さいことに起因するためであると考えられる。

【0101】即ち、〔表4〕に示される時定数が小さい

ということは、それだけ周囲の熱的な影響を受けやすいので、パルス状の加熱に対する薄膜材料の応答特性にこの周囲の熱的な影響が反映されやすく、例えば流量の微小の変化がこの応答特性に正確に表れると考えることができる。

【0102】このことは、ジルコニウム等の薄膜材料を用いて図4や図5に示すようなパルス状の加熱に対する応答特性を観察した場合、流量の変化や温度の変化に対する応答波形の変化の割合がダイヤモンド薄膜を用いた場合に比較して小さい(即ち感度が低い)という実験事実からも基礎付けられる。

【0103】以上のことより、表4に示される時定数が小さい材料を用いた場合程、特性のよい流量センサーを得ることができる結論される。例えば、CVD法で形成された多結晶ダイヤモンド薄膜の場合の時定数 $\tau$ と同程度以下の時定数 $\tau$ を有する薄膜材料を用いた場合、後述の実施例で示す場合と同様な特性を得ることができる。

【0104】またこのことは、流量センサーに限らず、ガスセンサー等においてもいえることである。

【0105】また、経済性等の観点から考えた場合、単結晶シリコンや炭化珪素を用いることが有用である。この場合、ダイヤモンド薄膜を用いた場合に比較して、計測精度や感度が低下するというデメリットがあるが、作製のし易さや材料の入手のし易さというメリットを得ることができる。

【0106】本発明者らの知見によれば、時定数 $\tau$ が2ミリ秒以下である薄膜材料を用いることによって、ダイヤモンド薄膜を用いた場合よりはその特性が低下するが、十分実用性の高い流量センサーさらにはガスセンサーを得ることができる。このような要求を満足する薄膜材料としては、前述の表4から明らかなように、単結晶シリコンや炭化珪素、さらには窒化アルミを用いることができる。このような材料を用いた場合には、ダイヤモンド薄膜を用いた場合に次ぐ特性を有するセンサー（ここでいうセンサーは、流量センサーはガスセンサーをも含む広義の意味を有する）を得ることができる。

【0107】以上述べたように、時定数 $\tau$ が2ミリ秒以下、好ましくは0.2ミリ秒以下の薄膜材料を用いることで、高性能なセンサーを得ることができる。なお、薄膜材料の応答特性を検出する手段として、当該薄膜材料に接して配置された測温抵抗体を用いる場合には、薄膜材料が半導体または絶縁体であることが望ましい。なお当該薄膜材料として、半導体材料を用いた場合には、当該薄膜材料中やその表面に発熱体や測温抵抗体を一導電型を有する半導体層で形成することができる。

【0108】薄膜材料として導体を用い、パルス状の加熱に対する応答特性を計測する手段として測温抵抗体を用いた場合には、当該薄膜材料の表面に絶縁膜を形成する必要がある。しかし、当該薄膜材料の温度変化を測温抵抗体以外の計測手段（例えばサーモグラフィのような手段）で計測する場合には、当該薄膜材料としてそのまま導体を用いることができる。

【0109】

【作用】パルス状の加熱に従う薄膜材料の（過渡）応答特性を評価することで、例えば流量の計測を行うことができる。薄膜材料を流体に接しさせた場合、流体と薄膜材料の間には、流体の流量に従った熱的な相互作用が存在する。この相互作用は薄膜材料に対してある熱的な影響を与えている。例えば、流量が大きい場合には、一定加熱後における薄膜材料の冷却が速く進みやすく、流量が小さい場合には、一定加熱後における薄膜材料の冷却は進みにくい。

【0110】薄膜材料に対して所定のパルス状の加熱を行った場合、薄膜材料はパルス状の加熱に従って急速に加熱され、そして冷却される。この場合、この加熱の状態（薄膜材料の温度上昇の状態）と冷却の状態（薄膜材料の温度下降の状態）は、例えば先の当該薄膜材料に接

して流れる流体の流量に大きく影響されることになる。このパルス状の加熱に対する薄膜材料の加熱の状態と冷却の状態は、薄膜材料のパルス状の加熱に対する過渡応答特性といえることができる。

【0111】この過渡応答特性は、パルス状の加熱を行う直前における薄膜材料の温度からの変化分（当該薄膜材料の温度変化分）のみが問題となるので、パルス状の加熱直前における薄膜材料の温度（この温度は、少なくとも変動している）の影響をほとんど受けない。

【0112】従ってこの過渡応答特性を評価することで、直流ドリフト成分を含まない計測値を得ることができる。例えば、流量の計測において、直流ドリフト成分が計測値に表れない計測値を得ることができる。

【0113】またこの過渡応答特性は、薄膜材料に衝突する流体を構成する分子の数と速度とに関係するものと理解することができる。従って、本明細書中における流量とは、質量流量を意味するものと理解することができる。

【0114】また、パルス状の加熱を行う手段が有する温度補償機能として、温度変化に対する抵抗変化の無い材料（あるいはほとんどない材料（例：コンスタンタン））を用いた場合、以下のような理由で温度補償を行うことができる。なおここでは、温度によって流体の熱的な性質が変化せず、また薄膜材料の熱的な性質も変化しないものと仮定する。（現実には、流体の諸パラメータは温度によって変化するので、上記仮定を前提とした考察は、近似的なものとなる）

【0115】この場合、加熱に要する電圧または電流、そして電圧を加える時間または電流を流す時間を定められたものとすれば、発熱体はおかれた環境の温度に依らずほぼ一定の熱量を発熱することになる。従って、薄膜材料には、パルス状の加熱に際して、流体の温度に依存しない（またはほとんど依存しない）熱量が供給されることになる。

【0116】この場合、流量に変化がないのならば、薄膜材料は流体の温度に対して常に一定の温度差を有する温度まで加熱されることになる。勿論これは、薄膜材料に供給される熱量が決まっていれば、薄膜材料の比熱と質量と形状とで薄膜材料の到達温度（加熱される温度）が決まると考えた場合に成り立つ近似である。

【0117】この場合、パルス状の加熱に対する薄膜材料の応答特性は、流体の温度には大きく依存しておらず、流体の流量に依存したものとなる。よってパルス状の加熱に対する薄膜材料の応答特性を評価することによって、流体の温度の影響を大きく低減させて、流量値の計測を行うことができる。即ち、温度補償を行いつつ流量の計測を行うことができる。なお、以上の議論は、前述の仮定（流体の諸パラメータが温度によって変化しないという仮定）に基づくものであり、完全な温度補償が行えるものでない。また、実際には、CPUの動作速

度、回路を構成する抵抗の抵抗値、アンプの特性等々も温度によって変化するので、さらに高い精度で計測を行う場合には、その影響をも補償する必要がある。

【0118】一方、パルス状の加熱を行う手段が有する温度補償機能として、発熱体が発熱する熱量を流体および／または計測環境の温度に従って変化させる構成を挙げることができる。この場合、流体の温度の変化に従う諸パラメータ（粘性や密度や熱伝導率等）や温度変化に対する回路の諸定数の変化の影響をある程度補償することができる。ここでいう回路の所定数とは、CPUの動作速度や抵抗の抵抗値、さらにはアンプのゲイン等のことをいう。

【0119】この構成の場合、流体および／または計測環境の温度変化に対する流体のパラメータの変化と回路の諸定数の値の変化に対応して、パルス状の加熱に際して薄膜材料に供給される熱量を変化させる。即ち、流量一定の条件において、流体の温度および／または計測環境の温度変化に対して、図4、図5に示す応答特性の波形の面積が一定なものとなるように、発熱体に加える電圧や電流を制御する。すると、前述の諸パラメータの変化の影響が図4、図5に示す応答特性に表れない、またはその影響を極力小さくできる状況を実現することができる。

【0120】また図1及び図2に示すように、流体202の温度を測温抵抗体111で検出し、このデータと、ダイヤモンド薄膜13の発熱体11によるパルス状の加熱に従う応答特性をCPU107において、図4に示す方法によって評価したデータとを用いることによって、流体202の温度を補償した形で流体202の流量を算出することができる。

【0121】また被計測パラメータ（例えば流量）一定の条件において、流体および／または計測環境の温度の変化に対して、図4の面積44で示されるようなパルス状の加熱に対する薄膜材料の応答特性を、一定または概略一定または一定の範囲内または概略一定の範囲内とすることによって、前記応答特性を流体および／または計測環境の温度に依らない、またはその影響を大きく排除したものとすることができる。

【0122】この結果、前記応答特性を被計測パラメータに対応したものとすることができる。そして例えば、精度の高い温度補償を行いつつ流量の計測を行うことができる。

【0123】また、本明細書で開示される発明に用いられる薄膜材料としては、下記〔数式11〕で示される時定数が5ms以下、好ましくは1ms以下の薄膜材料を用いることが有用である。このような薄膜材料を用いることで、高感度、高ダイナミックレンジを有するセンサー（例えば流量センサー）を得ることができる。特に、薄膜材料として、上記時定数 $\tau$ が1ms以下の材料を用いることで、

- ・極めて広いダイナミックレンジを有する。
- ・極めて高い感度を有する。
- ・消費電力を低く抑えることができる。

といった有意性を有するセンサー（例えば流量センサー）を得ることができる。

【0124】

【実施例】

【実施例1】図3に本明細書で開示する発明を実施する場合に必要な流量計測素子（基本的なセンサーユニット）の一例を示す。図3において、13は有磁場マイクロ波CVD法を用いて気相合成した5 $\mu$ m厚で3 $\times$ 5mmの大きさを有する多結晶ダイヤモンド薄膜である。12はスパッタリング法で形成された0.1 $\mu$ m厚の白金の測温抵抗体である。11は同じくスパッタリング法で形成された0.1 $\mu$ m厚の白金の発熱抵抗体である。10と15がそれらの電極であり、17はボンディング用の金ワイヤである。18はダイヤモンド薄膜13を保持するテフロン製の基体である。測温抵抗体12と発熱体11とは、その抵抗が異なるだけである。ここでは、測温抵抗体12の抵抗が約1K $\Omega$ 、発熱体11の抵抗が約100 $\Omega$ である。

【0125】図3に示す流量計測素子は、ダイヤモンド薄膜13がテフロンの基体18に保持された構成を有している。これは、ダイヤモンド薄膜13が流体以外とは熱的に絶縁されるようにするためである。このように当該薄膜材料（この場合はダイヤモンド薄膜）を熱的に絶縁して保持することによって、当該薄膜材料から流体以外に熱が流失しない構造とすることができ、流体と薄膜材料の熱的な相互作用を正確に評価することができる。

【0126】以下にダイヤモンド薄膜を作製する方法を示す。ここで示すダイヤモンド薄膜の作製法は、高密度プラズマを用いた気相合成方法である。ここでは、有磁場マイクロ波プラズマCVD法を用いてダイヤモンド薄膜を作製する例を示す。有磁場マイクロ波プラズマCVD法は、強力な磁場とマイクロ波の相互作用を用いてダイヤモンド薄膜の気相合成を行う方法である。

【0127】成膜条件を以下に示す。

基板温度	800℃
反応圧力	0.25 Torr
マイクロ波電力	4 KW (2.45 GHz)
反応ガス	CH <sub>3</sub> OH : H <sub>2</sub> = 1 : 4
成膜時間	10時間
膜厚	5 $\mu$ m
基板	単結晶シリコンウエハー

上記の条件で単結晶シリコンウエハー上に気相合成されるダイヤモンド薄膜は多結晶構造を有している。またこの多結晶ダイヤモンド薄膜の熱伝導率は1000 (W/mK) 程度である。

【0128】ここでは、有磁場マイクロ波CVD法を用いた例を示したが、他の気相合成法を用いてダイヤモンド



ド薄膜を得てもよい。また気相合成法以外の方法を用いてダイヤモンド薄膜を得るのもよい。またダイヤモンド薄膜中の不純物濃度は極力小さくした方がよい。これは、ダイヤモンド薄膜中の不純物濃度が小さい程、その比熱が小さく、またその熱伝導率が大きいためである。

【0129】以下において、図3に示す流量計測素子を用いた流量計測システムを示す。図1にシステム全体のブロック図を示す。また図2にシステム全体の概略の構成を示す。図1は図2に示すシステム全体の概要のブロック図を示すものである。図1及び図2において、12、102、103、104で示される抵抗体はブリッジ回路を構成している。抵抗体12と102とは、それぞれダイヤモンド薄膜13、101の表面に形成された白金薄膜で構成されている。また抵抗体102は抵抗体(測温抵抗体)12とほぼ同様の抵抗値を有している。

【0130】ダイヤモンド薄膜13と101とは共に流体に接して配置されている。またダイヤモンド薄膜13と111とは同一の成膜法で形成され、同一の寸法を有している。また、抵抗体103と104とは、温度変化に対して抵抗変化の極力小さい材料で構成されている。

【0131】102で示される測温抵抗体がダイヤモンド薄膜101の表面に形成されているのは、流体および/または計測環境の温度が大きく変化した場合に、ブリッジ回路のDCバランスが大きく変化しないようにするためである。

【0132】ブリッジ回路の出力は、アンプ105で増幅され、A/Dコンバータ106に入力される。A/Dコンバータ106でデジタル信号に変換された信号はCPU107に入力される。一方、CPU107には、D/Aコンバータ110によってデジタル信号に変換された測温抵抗体111からの出力が入力される。測温抵抗体111は、流体の温度を計測するためのものであり、流体に接するように配置されている。なお、測温抵抗体111が加熱されないように抵抗体112と113の抵抗値を選択することにより、測温抵抗体111からの出力は、流体の流量にほとんど依存しない(実用上流量への依存性は無視できる)状態とすることができる。即ち、測温抵抗体111を流体202の温度を検出する手段として機能させることができる。

【0133】CPU107においては、A/Dコンバータ106からの出力とA/Dコンバータ110からの出力とに基づいて、後述する所定の演算処理が行われる。CPUからの出力はLCDよりなる表示装置109に表示される。またCPU107によって制御されるスイッチ108によって発熱体11には所定の電圧または電流が所定のタイミングでもって供給される。

【0134】本実施例においては、パルス状の加熱に際して、発熱体11に加えられる電圧は3Vであり、その通電時間は0.2秒である。なお、発熱体からの加熱によってダイヤモンド薄膜の温度は20K程度の温度上昇を

するものと試算される。

【0135】本実施例においては、CPU107に加えてA/Dコンバータ110と106、さらにスイッチ108を備えた点線114で示される1チップの集積回路を用いている。本実施例では、集積回路114として、Texas Instruments社のマイクロプロセッサであるTSS400AFWを用いている。このマイクロプロセッサは、各種センサー用に利用できるものであって、各種D/Aコンバータやスイッチング機能を有している。

【0136】CPU107で処理された出力は、外付けされたLCD109に表示される。ここではLCD109に出力を表示する例を示すが、CPU107からの出力を、適当なメモリーに記憶させたり、装置外部に出力する構成としてもよい。

【0137】図2に示すように、ダイヤモンド薄膜13と101の一方の面はパイプ201内を流れる流体(例えば窒素流体)202に直接触れる構成となっている。また測温抵抗体111も流体202に直接触れるように配置されている。

【0138】測温抵抗体111はパイプ201内を流れる流体に最初の触れるように配置されている。これは、流体の温度を正確に計測するためである。また測温抵抗体111は、テフロン等の熱的に絶縁性の高い材料20に保持されている。図1および図2においては、ブリッジ回路に供給される電圧( $V_{cc}$ で示される)と測温抵抗体111に供給される電圧とを同じものとしているが、これは必要とする電圧とすればよい。

【0139】(動作方法について)以下に図1および図2に示すシステムを用いて、パイプ201内を流れる流体202(ここでは窒素ガス流体)の流量を計測する場合の例を示す。以下に示す動作は全てCPU107によって制御されて行われる。以下の動作の説明は図4を用いて行う。図4の縦軸に示すのは、アンプ105からの出力(電圧出力)であり、横軸は経過時間を示す。

【0140】(1)CPU107において、アンプ105からの出力 $f$ を $I_0$ から $I_0 + \Delta I_0$ の間において積算する。この演算はCPU107において行われる。この演算は下記の数式1に示される演算を行うことと等価である。

【0141】

【数1】

【0142】上記演算によって得られる値 $S_0$ は、図4の斜線41で示される面積に対応する。上記(1)で示される動作は、計測値の基準点を確定するために行われる。ここでは、 $\Delta t_0 = 0.1$ 秒として上記演算を行う。

【0143】(2)CPU107からの指令により、スイッチ108が動作し発熱体11に対して電流を流し、発熱体11を $I_1$ と $I_1 + \Delta I_1$ との間において加熱する。ここでは $\Delta I_1 = 0.2$ 秒としてこの加熱を行う。

【0144】上記(2)の動作過程によってダイヤモンド薄膜13は急速に加熱され、そして流体202によって急速に冷却される。このダイヤモンド薄膜の温度変化(パルス状の加熱に対する応答特性)は、測温抵抗体12の抵抗値の変化として検出される。測温抵抗体12の抵抗値の変化は、ブリッジ回路からの出力変化となり、アンプ105、A/Dコンバータ106を経てCPU107に入力される。即ち、発熱体11からのパルス状の加熱に対するダイヤモンド薄膜101の応答特性は、ブリッジ回路の出力としてCPU107に入力される。

【0145】発熱体11の加熱に従ってアンプ105の出力 $f$ は、図4の42で示されるように変化する。さらに、加熱後の冷却(ダイヤモンド薄膜の冷却)に従ってアンプ105の出力 $f$ は、図4の43で示されるように変化する。この様子を図5に示す。図5は、アンプ105の出力をオシロスコープに接続し、その出力変化をオシロスコープの画面に表示した際の表示写真である。

【0146】(3)上記(2)の動作過程における加熱に従うアンプ105からの出力 $f$ を $t_1$ から $t_2 + \Delta t_2$ の間において積算する。ここで $t_1 < t_2$ とする。これは、 $t_1 = t_2$ とすると、アンプ105からの出力 $f$ にノイズが現れるからである。またここでは $t_2 = 0.4$ 秒とする。ここで行われる演算は、下記の数式2で示される計算を実行するのと等価である。

【0147】

【数2】

【0148】(4)下記数3で示される演算をCPU107において行う。この演算によって、図4の斜線部44で示される部分の面積に対応する値 $S$ が得られる。この値 $S$ は、発熱体11からのパルス状の加熱に対するダイヤモンド薄膜13の応答特性が定量的に示されたものであると理解することができる。

【0149】

【数3】

【0150】(5)CPU107において、上記(4)の動作過程において得られた値 $S$ と測温抵抗体111からの出力とに基づいて、後述する算出方法に基づいて流量の算出を行う。

【0151】以上(1)～(5)に示した動作は、4秒間を1サイクルとして行われる。即ち、4秒間に1回の割合で、流量の算出が行われることになる。

【0152】以上示した $\Delta t_0$ 、 $\Delta t_1$ 、 $\Delta t_2$ の諸パラメータの値は、実施態様に合わせて変更可能である。上記(1)～(5)に示すような動作をさせる場合には、 $\Delta t_1$ の値を50ms以上(上限は特にないが、長くすると動作間隔が長くなり、消費電力の増大を招く)とすることができる。また $\Delta t_2$ の値は、 $\Delta t_1$ 以上の長さを有することが望ましい。なお、 $\Delta t_0$ の値は任意に決めることができるが、計測精度の向上のためには、100ms以上とすることが望ましい。

【0153】(CPUにおいて行われる演算について)以下において前述(5)の動作過程においてCPUにおいて行われる演算方法について説明する。

【0154】前述した(1)～(5)の動作過程を経て算出される値 $S$ は、流量と流体の温度とにほぼ依存する。従って、流量値を $Y$ 、流体の温度を $T$ 、とすると適当な関数 $L$ を用いて下記の【数式4】に示される関数関係が得られる。

【0155】

【数4】

$$Y = L(T, S)$$

数式4

【0156】ここで、 $T$ の値は測温抵抗体111からの出力によって得ることができる。従って、関数 $L$ の形を予め求めておけば、数式3で示される演算結果 $S$ を用いて、流体の温度に依存しない流量値 $Y$ を得ることができる。

【0157】以下に図1、図2に示す構成を用いて、窒素流量の計測を行った場合の例を示す。

【0158】以下において、 $S$ を前述した動作方法によって処理した出力(図4の斜線44で示す面積に対応する)値とする。この出力 $S$ は、流量に関する情報を含んだものである。また、 $T$ を測温抵抗体111の出力(その抵抗値の変化に対応する)とする。また必要に応じてこれらパラメータには、適当な下付添字を付けるものとする。

【0159】まず、流量0の状態において、測温抵抗体111からの出力 $T_{0i}$ と $S$ との関係を求める。この関係は、図4で示されるような、発熱体11からのパルス状の加熱に対するダイヤモンド薄膜13の応答特性と、測温抵抗体111で検出される流体の温度との関係を示すものといえる。この $T_{0i}$ と $S$ との関係は、下記【数式5】で示されるような関数となる。具体的な関数の形は適当なデータ処理ソフトを用いて求めればよい。

【0160】

【数5】

$$S_{0i} = A(T_{0i})$$

数式5

【0161】そして、流量の計測において【数式1】～【数式3】を用いて図4に示す方法によって得られた値 $S$ を、上記【数式5】で求めた関数 $A(T_i)$ を用いて下記の【数式6】に示すように規格化(normalize)する。

【0162】

【数6】

$$S_{norm} = (S_i / A(T_i))$$

数式6

【0163】上記【数式6】において、 $T_i$ で示すパラメータは、測温抵抗体111からの出力に対応する。また $S_{norm}$ は、規格化された計測値を示すものである。

【0164】上記【数式6】で求められた $S_{norm}$ の値と実際の流量値(公正されたマスフローセンサ等で計測される) $F$ との関係を適当な関数 $B(S_{norm})$ を用いて、

下記〔数式7〕で示す関数関係として求める。

【0165】

〔数7〕

$$F = B(S_{\text{norm}}) \quad \text{数式7}$$

【0166】上記〔数式7〕で示される関数B

( $S_{\text{norm}}$ )を用いることによって、流量の計測値が算出される。

【0167】図6に示すのは、関数関数B( $S_{\text{norm}}$ )を用いて算出された計測値が公正されたマスフローメータによって計測された実際の流量値Pに対してどれほどの公差を有しているかを調べた結果である。図6に示すのは、下記〔数式8〕に示す計算式を用いて、縦軸に示すErrorで示される公差と横軸に示す流量(リットル/時)との関係を求めたデータである。

【0168】

〔数8〕

$$E = \frac{B(S_{\text{norm}}) - P}{P} \times 100 (\%) \quad \text{数式8}$$

【0169】図6には、流体の温度がマイナス20℃、マイナス10℃、0℃、10℃、40℃、55℃、70℃の場合のプロット点が全て示されている。図6には、一部公差が悪化している範囲があるものの、およそ50(リットル/時)～1800(リットル/時)の流量範囲に渡って、±1.5%以内の公差で温度補償を行いつつ正確な流量計測を行えることが示されている。なお、マスフローメータによって計測されるのは質量流量であり、正確には単位としてKg/h等を用いることが必要であるが、ここでは一般に実施に当たって慣用されているリットル/時を用いることとする。

【0170】前述のように、本実施例において発熱体1

1に加えられる電圧は3Vであり、またその電圧が発熱体11に加えられる時間も4秒間の1動作サイクル中0.2秒間である。これは、極めて低い消費電力で動作させることができることを意味している。実際の動作に当たっては、集積回路114で消費される消費電力が存在するのであるが、最も電力を消費する発熱体11の駆動消費電力を上記のように極めて低いものとし、図6に示すような高感度、高ダイナミックレンジを有する特性が得られることは産業利用上極めて有意義なことである。

【0171】実施に当たって、〔数式5〕や〔数式7〕で示される関数A( $T_i$ )やB( $S_{\text{norm}}$ )は、別に配置された半導体メモリ(図示せず)に記憶させればよい。また関数の具体的な形は、CPUの能力やメモリの容量、さらには計測精度に鑑みて、適時設定することができる。

【0172】〔実施例2〕本実施例は、図1及び図2に示す構成を利用した流量の計測方法において、測温抵抗体111からの出力Tとアンプ105からの出力をCPU107において図4に示す方法によって処理した出力S(この出力Sは、ダイヤモンド薄膜13のパルス状の加熱に対する応答特性を反映している)とに1対1に対応する流量値Yを求める方法に関する。

【0173】本実施例においては、(T, S)の値に対応したYを計測範囲内において必要とする組み合わせで求め、その対応データ(対応表)をメモリ(図1, 図2には図示せず)に記憶させ、その対応データに基づいて計測値Yを求めるものである。この対応データの一例を下記表1に示す。

【0174】

〔表1〕

	$T_1$	$T_2$	$T_3$	- - - - -	$T_n$
$S_1$	$Y_{11}$	$Y_{12}$	$Y_{13}$		$Y_{1n}$
$S_2$	$Y_{21}$	$Y_{22}$	$Y_{23}$		$Y_{2n}$
$S_3$	$Y_{31}$	$Y_{32}$	$Y_{33}$		$Y_{3n}$
$S_4$	$Y_{41}$	$Y_{42}$	$Y_{43}$		$Y_{4n}$
$S_5$	$Y_{51}$	$Y_{52}$	$Y_{53}$		$Y_{5n}$
⋮					⋮
$S_n$	$Y_{n1}$	$Y_{n2}$	$Y_{n3}$	- - - - -	$Y_{nn}$

【0175】メモリ中には、予め求めておいた上記表1に示されるTとSそれぞれの値に対応したY(流量値)の値が記憶される。実際の計測においては、TとSの値が求められ、表1に示す対応データに基づいてYの

値が求められる。この演算はCPU107または他に外付けされたCPUにおいて行われる。上記表1は、下記〔数式4〕の関数Lを示したものであると見ることができる。

【0176】

【数4】

【0177】上記表1において使用される諸パラメータの分解能は、必要とする計測精度に合わせて決めればよい。

【0178】本実施例の構成を採用した場合、温度補償を高い精度で行いつつ、流量の計測を行うことができる。しかし、CPUへの負担が増大することや、大きなメモリー容量を使用しなくてはならないという欠点がある。

【0179】〔実施例3〕本実施例は、図1及び図2に示す構成にさらに計測環境の温度を計測する測温抵抗体

(図示せず)を設け、計測環境の温度による影響を補償しうる構成とした例である。本実施例の構成を実現するには、実施例2で示した表1のパラメータ(表1の場合はTとSが計測されるパラメータである)に加えて、計測環境周囲の温度を示すパラメータを加えればよい。この場合、予め別に設けたメモリーに下記表2に示すような対応データを記憶させておけばよい。

【0180】表2に示されるような対応データは、できる限り多数の組合せを用意することが、計測精度を高める上では有用である。

【0181】

【表2】

$T_{10}$	$T_{20}$	$S_1$	$Y_1$
$T_{12}$	$T_{22}$	$S_2$	$Y_2$
$T_{13}$	$T_{23}$	$S_3$	$Y_3$
$T_{14}$	$T_{24}$	$S_4$	$Y_4$
⋮	⋮	⋮	⋮
$T_{1i}$	$T_{2i}$	$S_i$	$Y_i$

【0182】ここで、 $T_{1i}$ が流体の温度に対応するパラメータであり、 $T_{2i}$ が計測環境の温度に対応するパラメータである。またSは図4に示す方法を用いて処理された出力である。そしてYが対応する流量値である。なお、表2をより正確に記すならば、3次元直交座標において、 $T_{1i}$ 、 $T_{2i}$ 、 $S_k$ を各座標成分として、( $T_{1i}$ 、 $T_{2i}$ 、 $S_k$ )で決まる一点を流量値 $Y_i$ に対応させる必要がある。

【0183】本実施例の場合は、各パラメータと流量の計測値Yとの関係が適当な関数Lを用いて下記〔数式9〕で示される。

【0184】

【数9】

$$Y=L(T_1, T_2, S)$$

数式9

【0185】本実施例のような構成は、計測環境の温度によって計測した流量値が影響を受けることを低減あるいは防ぐことができる。しかし、パラメータの組み合わせが指数関数的に増えるので、扱うデータ量が膨大なものとなるという欠点がある。

【0186】〔実施例4〕本実施例は、図1および図2に示す構成において、流体の湿度を検出するセンサーを追加し、流体の湿度による流量値への影響を補償する構成に関する。

【0187】本実施例の構成は、例えば空調システムの

ダクト内を流れる流体(普通は空気)の流量を計測するシステムに利用することができる。

【0188】本実施例の構成を実現するには、図1および図2に示す構成に、流体の湿度を計測するセンサーを追加し、その出力HがCPU107に入力されるようにすればよい。そして、流体の温度を反映したサーミスタ111からの出力Tと図4に示す方法で算出された出力Sと湿度センサー(図示せず)からの出力Hとに基づいて、流量値Yを求めればよい。

【0189】本実施例は、下記の〔数式10〕に示す関数関係を用い、パラメータT、S、Hに基づいて流量値Yを求めるものである。

【0190】

【数10】

$$Y=L(T, S, H)$$

数式10

【0191】ここで、上記〔数式10〕における関数Lは、適当な具体的なものを求めるのもよく、また下記表3に示すような対応関係に基づくものでもよい。なお、下記表3に示すデータは、その組み合わせがなるべく多くなるようにした方が計測精度を高くすることができる。

【0192】

【表3】

$T_1$	$S_1$	$H_1$	$Y_1$
$T_2$	$S_2$	$H_2$	$Y_2$
$T_3$	$S_3$	$H_3$	$Y_3$
$T_4$	$S_4$	$H_4$	$Y_4$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$T_i$	$S_i$	$H_i$	$Y_i$

【0193】〔実施例5〕本発明人らの知見によれば、本明細書で開示する発明の構成において、パルス状の加熱に際して薄膜材料に供給される熱量を一定なものとすることによって、このパルス状の加熱に対するダイヤモンド薄膜の熱的な応答特性を流体の温度にあまり大きな影響を受けずに、流量に対応したものとすることが結論される。

【0194】このことは以下のように考えることによって結論される。即ち、ダイヤモンド薄膜の比熱が温度に対して変化しないと仮定した場合において、ダイヤモンド薄膜の温度は周囲の流体の温度とほぼ一定と見なすことができる。この状態で、ダイヤモンド薄膜に流体の温度に依らず一定の熱量 $\Delta Q$ を供給した場合を考える。この場合、ダイヤモンド薄膜の温度上昇分は、ダイヤモンド薄膜の比熱 $c$ と質量 $m$ を用いて、 $\Delta Q/mc$ で示される。

【0195】流体の温度が変化した場合、流体の熱的なパラメータ（例えば熱伝導率）が変化するので、加熱されたダイヤモンド薄膜から流体に逃げて行く単位時間当たりの熱量は当然変化する。しかしながら、流体の温度が $\pm 50^\circ\text{C}$ 程度の範囲で変化した場合は、その範囲の温度変化が、パルス状の加熱に対するダイヤモンド薄膜の温度変化（応答特性）に与える影響は数パーセント程度であると考えられる。

【0196】即ち、ダイヤモンド薄膜に供給される熱量（パルス状の加熱に際して供給される熱量）を流体の温度に依らず一定なものとした場合、この熱量の供給に対するダイヤモンド薄膜の応答特性は、流体の温度の影響をそれほど大きく受けにくいということになる。

【0197】一般に白金を用いた発熱体は、流体の温度によって大きくその抵抗値が変化してしまう。従って温度変化によって、発熱量も大きく変化してしまう。例えば、 $1^\circ\text{C}$ の温度変化に対して $1000\text{ ppm}$ の抵抗変化を示す白金薄膜を発熱体として用いた場合には、 $100^\circ\text{C}$ の温度変化で $10\%$ の抵抗変化を示すことになる。従って、定電圧駆動を考えた場合で、 $10\%$ の発熱量の変動が生じることになる。

【0198】そこで、本実施例に示す構成においては、

発熱体として温度による抵抗値の変化が極力小さいものを用いることによって、流体の温度に影響されにくい流量計測を実現するものである。具体的には、発熱体としてコンスタンタンを材料としたものを用い、発熱体からの発熱量が流体の温度によって変化しないような構成を採用するものである。コンスタンタンは、Niが $45\%$ 、Cuが $55\%$ の合金であり、温度変化に対する抵抗値の変化が極めて小さい材料である。

【0199】素子の構造は図3に示すものと発熱体を除いて同様であり、全体のシステムの構成も図1および図2に示すものと同様である。またその動作方法も実施例1で示したものと同様である。また本明細書の他の実施例における発熱体を本実施例に示すようなコンスタンタンとすることは有効である。

【0200】発熱体としてコンスタンタンを用いた場合であっても、図1の111で示されるような温度補償用の测温抵抗体（流体の温度を計測する手段）を用いることは非常に有用である。流体の温度が変化すると、流体の比熱や動粘性率等の諸特性も変化する。従って、流量の計測値はこれら熱的な諸パラメータの変化の影響を受けたものになってしまう。また、温度によってCPUの動作速度やアンプのゲイン等も変化する。その変化は計測値に影響を与える。従って、これら流体の熱的物性の変化や回路の所定数の変化に依らずに流量を算出するには、流体の温度に関する情報に基づいて、その影響を取り除くことが有効である。

【0201】本実施例では、メタルマスクを配置したダイヤモンド薄膜上にコンスタンタンを蒸着法を用いて選択的に成膜し、所定のパターンにコンスタンタンの薄膜を形成する。蒸着は、NiとCuとを材料として行う。

【0202】本実施例に示す構成を採用した場合、発熱体が発生する熱量（当該薄膜材料に供給する熱量）が温度に寄らないものになる。従って、CPUやアンプの特性の温度依存性が顕著に表れてくることになる。そこで、計測値の温度依存性をさらに低減させるためには、CPUやアンプの特性が流体および/または計測環境の温度によって、影響を受けないようにする工夫が必要がある。

【0203】本実施例ではコンスタンタンを発熱体として用いた例を示した。コンスタンタン以外には、マンガニン等の温度変化に対する抵抗変化の極めて低い材料を用いることができる。このような材料としては、使用する温度範囲において、その抵抗値の変化が10ppm以下であるような材料を用いることが望ましい。

【0204】〔実施例6〕本実施例は、図1および図2に示す構成において、ダイヤモンド薄膜13に対してパルス状の加熱を行う手段として、レーザー光の照射による方法を採用した例である。図7に本実施例の構成を示す。図7に示すのは、図2に示す構成における発熱体11の代わりに、スイッチ108によって制御されるレーザー発振装置600を備えた例である。図7において、図2と同じ符号である部分は図2と同じ箇所を示す。

【0205】ここでレーザー発振装置600として、温度変化によってその出力が極力変化しないものを用いることで、流体および/または計測環境の温度変化に影響されずに常に一定の熱量をダイヤモンド薄膜に対して与えることができる。レーザー発振装置600としては、赤色のレーザー光や赤外光のレーザー光を発振するものを用いればよい。ダイヤモンド薄膜13としてCVD法で形成された多結晶ダイヤモンド薄膜を用いた場合には、結晶粒界に赤外光が吸収されるので、赤外光の照射によって加熱することができる。

【0206】動作方法は、実施例1に示したのと同様である。即ち、発熱体をジュール加熱する代わりに、所定の時間においてレーザー発振装置600からレーザー光をダイヤモンド薄膜13に対して照射すればよい。

【0207】〔実施例7〕本実施例は、温度計測センサーからの出力をアナログ的にフィードバックさせ、このフィードバックされた出力を基に流量計測センサーの発熱体に供給する電圧を制御し、流体および/または計測環境に依存しない（またはその依存性を大きく低減させた）流量計測を行う構成に関する。

【0208】本実施例においては、図3に示すようなセンサー素子を最低で2つ用いる。そしてそれぞれのセンサーを2つのブリッジ回路に組み込み、一方のブリッジ回路に組み込まれたセンサーの発熱体に供給する電圧を他方のブリッジ回路の出力を利用して制御する。

【0209】図8に本実施例の構成の概略を示す。図8において、ブリッジ1には、ダイヤモンド薄膜809上に形成された発熱体811と測温抵抗体810を有するセンサーが配置されている。このセンサーは、ダイヤモンド薄膜の一方の面が流体に接する構成を有している。このセンサーの構成は図3に示すものと同様である。即ち、ダイヤモンド薄膜809の一方の面上には、白金薄膜で構成される発熱体811と同じく白金薄膜で構成される測温抵抗体810が形成されている。

【0210】抵抗807と808は、温度変化に対する抵抗変化の小さいものを用いることが好ましい。ブリッ

ジ1を構成する一つの抵抗体806は、809と同様なダイヤモンド薄膜805上に形成された白金薄膜で構成されている。この白金薄膜で構成される抵抗体806の抵抗値は、測温抵抗体810と同程度であることが望ましい。

【0211】ダイヤモンド薄膜805にはもう一つの抵抗体804が白金薄膜によって構成されている。この抵抗体804を構成する白金薄膜は、温度に対する抵抗値の変化の特性が、発熱体811（白金薄膜で構成される）と同じ（あるいはそれにできる限り近い）特性を有している必要がある。

【0212】抵抗体804は、温度変化に対する抵抗値の変化が極力小さい抵抗体801~803とでブリッジ2を構成している。ブリッジ2の出力はアンプ812で増幅される。そしてアンプ812の出力は発熱体811を駆動する。ブリッジ1の出力は、アンプ813で増幅され、アンプ813で増幅された信号はA/Dコンバータ814でデジタル信号に変換され、さらにCPU815に入力される。

【0213】CPU815は、A/Dコンバータ814からのデジタル信号を所定の手順に従って処理する。一方、測温抵抗体819は被計測流体に接しており、流体の温度に対応した抵抗値となる。そして測温抵抗体819と適当な抵抗818と820で構成された回路からは、流体の温度に対応した値が出力され、その出力はA/Dコンバータ817によりデジタル信号に変換され、さらにCPU815に入力される。CPU815では、ブリッジ1からの出力と測温抵抗体819からの出力とを所定の計算方法に従って演算処理し、ダイヤモンド薄膜809に接して流れている流体の流量を算出する。そして、CPU815で算出された流量値（または流量値に対応した値）は、LCD816に表示される。またCPU815は、ブリッジ1及びブリッジ2に供給する電圧を制御する機能を有している。

【0214】図8に示すシステムを動作させる場合も基本的に図4で示した動作方法と同様である。以下においてその動作方法を詳細に説明する。

【0215】（第1の動作） $t_0$ と $t_0 + \Delta t_0$ との間において、下記〔数式1〕で示される演算をCPU815において行う。

【0216】

〔数1〕

【0217】この第1の動作を実行することにより、動作の基準点を確定する。

【0218】（第2の動作） $t_1$ と $t_1 + \Delta t_1$ との間において、 $V_2$ に所定の電圧を加える。この際、抵抗体804の抵抗値に従ってブリッジ2の出力は変化する。この抵抗体804の抵抗値は、流体の温度に依存する。そして、この抵抗値804の抵抗値の変化に従ってブリッジ2の出力は変化する。その出力はアンプ812で増幅

され発熱体811を駆動する。従って、発熱体811を駆動するための電圧は、流体の温度に従って変化することになる。

【0219】この発熱体811のパルス状の発熱によって、ダイヤモンド薄膜809は、図4の $f(t)$ に示すような温度変化を示す。即ち、 $t_1$ と $t_1 + \Delta t_1$ との間において急速に加熱され、その後急速に冷却されることになる。図4の $f(t)$ で示されえるダイヤモンド薄膜の温度変化は、ダイヤモンド薄膜のパルス状の加熱に対する応答特性であると理解することができる。なお、 $\Delta t_1$ は、50ms～1s程度の間で選択すればよい。

【0220】(第3の動作)  $t_2$ と $t_2 + \Delta t_2$ との間において、A/Dコンバータ814によってデジタル変換されたアンプ813の出力をCPU815で積算する。この積算は、下記【数式2】に示される演算をCPU815で行うことによって実行される。なおここで、 $t_1 < t_2$ とする。

【0221】

【数2】

【0222】(第4の動作) 上記(第1の動作)で得られた値と上記(第3の動作)で得られた値との差をCPU815において演算する。具体的には、下記【数式3】で示す演算を行う。

【0223】

【数3】

【0224】(第5の動作) 上記第4の動作の結果とA/Dコンバータ817からの出力とに基づいて、CPU815において所定の演算を行うことにより、ダイヤモンド薄膜809に接する流体の流量を算出する。

【0225】上記第5の動作で行われる所定の演算は、実施例2で示した方法と同様である。勿論、用いられる関数の具体的な形が、実施例2の場合と異なることはいうまでもない。

【0226】また、以上説明した第1の動作～第5の動作は、CPU815からの指令によって、予め決められた手順に従って行われる。なお、【数式1】～【数式3】に示すような必要とする数式は、図示しない半導体メモリーに記憶させておけばよい。

【0227】ここで、流体の温度が徐々に高くなっていく状況を考える。この場合、白金薄膜で構成された抵抗体804の抵抗は、流体の温度に従って高くなる。するとブリッジ2の出力は、それに従って大きくなる。この出力は、アンプ812で電圧増幅され、発熱体811に供給される。即ちこの発熱体811に供給される電圧は、流体の温度の上昇に従ったものとなる。従って、流体の温度の上昇分に対応した電圧が発熱体811に供給されることになる。

【0228】一方、発熱体811の抵抗は流体の温度の上昇につれて上昇する。従って、アンプ812のゲインを適時設定することにより、定電圧駆動を行った場合に

は、オームの法則( $P = V^2 / R$ )で示される発熱体の発熱量 $P$ を、流体の温度に寄らないほぼ一定な値、またはそれほど大きく発熱量が変化しない構成とすることができる。

【0229】結果として、ダイヤモンド薄膜809には、流体の温度変化に大きく影響されない熱量が供給されることになる。そして、発熱体811からのパルス状の加熱に対するダイヤモンド薄膜809の応答特性(図4の $f(t)$ で示されるような)もまた流体の温度に大きく依存しないものとしてすることができる。またはその応答特性に対する流体の温度の影響を大きく低減させることができる。

【0230】図8に示す構成においては、抵抗体804と発熱体811とを同一の材料、または同一の抵抗の温度依存特性を有する材料で構成する必要がある。これは、流体の温度変化に対応した適正なフィードバックを発熱体811に与える必要があるためである。

【0231】【実施例8】本実施例は、図8に示す構成において、アンプ812のゲインを流体の温度に従って適時可変する構成とし、流体の温度に従った電圧で発熱体811を駆動するようにしたことを特徴とする。

【0232】アンプ812のゲインの可変は、流体の温度の変化に従う諸パラメータ(粘性や密度や熱伝導率等)や温度変化に対する回路の諸定数(回路を構成する抵抗の抵抗値等)の変化の影響をある程度補償するように設定する必要がある。

【0233】即ち、流量一定の条件において、流体の温度および/または計測環境の温度に対して、図4、図5に示す応答特性の波形の面積が一定なものとなるように、アンプ812のゲインを可変させる必要がある。

【0234】このような構成を採用すると、流体および/または計測環境の温度変化に起因する諸パラメータの変化の影響が図4、図5に示す応答特性に表れない、またはその影響を極力小さくできる状況を実現することができる。そして、図4や図5に示す応答波形を流体の温度に寄らず、流量に従ったものとしてすることができる。

【0235】本実施例で示すようにアンプ812のゲインを流体および/または計測環境の温度変化に対応させて変化させるには、別に設けた流体および/または計測環境の温度変化を検出する手段(図示せず)を容易し、別に設けたCPU(図示せず)によってアンプ812のゲインを制御すればよい。即ち、流量一定の状態において、流体の温度を変化させ、この際において図4、図5に示す応答波形の面積(図4の4.4に対応)が一定となるように、アンプ812のゲインをCPUによって制御すればよい。なおCPU815で行われる演算は、実施例1で示したものと同様である。

【0236】このような構成とすることで、諸々のパラメータの温度依存性を排除した流量計測を行うことができる。

【0237】また、図8に示す測温抵抗体819を併用し、CPU815において実施例1に示したような温度補償をさらに行う場合には、アンプ812のゲインの制御をそれ程厳密に行わなくてもよい。これは、測温抵抗体819による温度補償機能があるからである。なお、流体および/または計測環境の温度変化に対するアンプ812のゲインの設定を厳密に行う場合には、測温抵抗体819は必ずしも必要なものではない。しかし、完全な温度補償を行うことは、現実問題として困難であるので、本実施例に示す構成に加えて、測温抵抗体819を用いた温度補償を併用し、さらに温度補償機能を高めることは実用上有用である。

【0238】〔実施例9〕本実施例のブロック図を図9に示す。本実施例は、実施例1に示す構成の変形例である。実施例1に示す構成においては、流体の温度を計測する手段として、測温抵抗体111を別個に設ける構成を採っている。しかし本実施例においては、ダイヤモンド薄膜101上に形成された白金薄膜102を測温抵抗体として用い、この白金薄膜102の抵抗値変化から、流体の温度を検出する構成としたものである。

【0239】測温抵抗体102は測温抵抗体12と同じ材料、または同じか近い温度-抵抗特性（温度によって変化する抵抗値の特性）を有する材料で構成されることが必要である。本実施例においては、測温抵抗体12と測温抵抗体102とは、スパッタ法で形成される白金薄膜を用いており、同じ温度-抵抗特性を有している。勿論、測温抵抗体12と測温抵抗体102とは、必要とされる抵抗値を有するようにその寸法や膜厚を設定する必要がある。なお、以上説明した以外の構成は図1に示すものと場合と同様であり、その動作方法も実施例1に示すものと同じである。

【0240】〔実施例10〕本実施例は、ダイヤモンド薄膜表面に配置された抵抗発熱体に供給する電圧を流体の温度に従って変化させ、温度補償を行う構成に関する。図11および図12に本実施例の概略の構成を示す。図11と図12は等価なものであり、図12に示すのは、図11に示す構成をより具体的に示したものである。図11および図12において、図1および図2において用いられるのと同じ符号は、実施例1において説明したものと同一の構成要素を示す。またその詳細な説明は図1および図2に示すものと同様である。また本実施例においては、114で示される1チップの集積回路に外付けのD/Aコンバータ1101とメモリー1102を配置してある。集積回路114としては、実施例1と同様にTexas Instruments社のマイクロプロセッサであるTSS400AFWを用いることができる。

【0241】図11および図12に示す構成は、メモリー1102に記憶された下記表5に示すような対応関係に基づいて、D/Aコンバータ1101によって発熱体11に供給される電圧を制御することを特徴とする。特

にこの発熱体11に供給される電圧を流体の温度に対応させて変化させることを特徴とする。

【0242】

【表5】

【0243】表5に示すのは、流体の一定の流量 $F_i$ において、図4の応答波形の面積44の値 $S_i$ が一定または概略一定または一定の範囲内または概略一定の範囲内のものとなるようにするために必要な流体の温度 $T_i$ の値と発熱体11に供給する電圧 $V_i$ の値との組み合わせを示したものである。

【0244】換言すれば、表5に示す関係は、所定の流量 $V_i$ （例えば $V_i = 0$ ）の状態において、図4の44で示される応答波形の面積 $S_i$ が一定または概略一定または一定の範囲内または概略一定の範囲内のものとなるようにした場合における、 $T_i$ で示される流体の温度と、発熱体11に供給する電圧 $V_i$ との関係を示したものであるといえる。

【0245】表5に示す $T_1, T_2 \dots T_n$ としては、計測範囲内においてなるべく多数細かく採った方が計測精度を高くすることができる。

【0246】また流量 $V_i$ の値は、計測範囲内の任意の値を選択することができる。しかし計測精度を向上させるためには、表5に示すような関係を、複数の流量の場合において求めて置くことがより望ましい。例えば、表5に示すような関係を流量 $V_i$ が0（リットル/時）、10（リットル/時）、50（リットル/時）、100（リットル/時）、500（リットル/時）、1000（リットル/時）の場合と分割して複数求めることは、計測精度を高めるためには非常に有効である。この場合、表5に示す関係を複数の流量 $V_i$ の場合において求めておき、メモリー1102に記憶させておくか、 $V_i = F(T_i)$ で示される関数関係を、複数の流量 $V_i$ の場合において求めておき、メモリー1102に記憶させておけばよい。

【0247】表5に示す関係を複数の流量の場合において求めておくことが有効なのは以下の理由による。即ち、流量が変化することによって、圧力等の影響によって、表5に示す関係もわずかながら変化する。従って、複数に分割した流量範囲において、表5に示すような関係を求めておくことで、計測精度を高めることができる。

【0248】図11および図12に示すような構成を動作させるには、予めメモリー1101に上記表5に示すような関係を記憶させておく必要がある。なお、発熱体11によるパルス状の加熱に対するダイヤモンド薄膜13の応答特性（図4に示される）を計測する具体的な方法は、実施例1に示したものと同様である。

【0249】本実施例に示す構成を動作させるには以下のようにすればよい。まず、流体に接して配置されている測温抵抗体111が検出する流体202の温度 $T_i$ に従って、CPU107がメモリー1102に記憶された



上記表 5 に示すデータに基づき、対応する電圧  $V_0$  で発熱体 11 を駆動すべく D/A コンバータ 1101 に指令を出す。そして D/A コンバータ 1101 によって発熱体 11 には  $T_0$  に対応する電圧  $V_0$  が供給される。

【0250】表 5 に示す  $V_0$  は、図 4 の 44 で示される面積を一定または概略一定または一定の範囲内または概略一定の範囲内とする場合において、所定の流体の温度  $T_0$  に対応して必要とされる発熱体 11 を駆動するための電圧である。

【0251】従って、流体 202 の流量が変化しない場合、図 4 の 44 で示される面積  $S_1$  に対応する応答特性は、流体の温度  $T_0$  に対して、一定または概略一定または一定の範囲内または概略一定の範囲内のものとなる。

【0252】即ち、図 4 の 44 で示される面積は、流体 202 の温度に大きく影響されず、流体 202 の流量に対応したものとなる。このように、発熱体 11 に供給する電圧を流体の温度に対応させて変化させることによって、図 4 の 44 で示される面積  $S_1$  で示される応答特性（定量化した応答特性）を流体の流量に対応させたものとすることができる。そして、流体の温度に影響されない流量計測を行うことができる。

【0253】本実施例に示す構成を採用した場合、流体および/または計測環境の温度変化に従う各種パラメータの変化の影響を全て含んだ形で補償することができるので、極めて高い精度で流量の計測を行うことができる。この各種パラメータには、流体の諸物性、回路の所定数が全て含まれる。

【0254】例えば、実際に使用される環境において、表 5 に示す関係を求めておくことで、流体の温度のみならず計測環境の温度をも補償する構成とすることができる。

【0255】なお、本実施例においては、ダイヤモンド薄膜に対してパルス状の加熱を行う手段として、ダイヤモンド薄膜 13 に接して配置された抵抗発熱体を用い、この抵抗発熱体に供給する電圧を制御する例を示した。しかし、例えばダイヤモンド薄膜に対してパルス状の加熱を行う手段として、レーザー光を照射する装置を利用した場合には、レーザー光の照射強度を変化させるパラメータを流体の温度に従って制御する構成とすればよい。

【0256】〔実施例 11〕本実施例は、実施例 1 に示す構成をガスセンサーに利用した例である。本実施例で示すガスセンサーは、例えば特定のガスの検出等に用いることができる。例えば人体に有害なガスの検出等に利用することができる。

【0257】本実施例に示すガスセンサーの構成は、図 1 に示すものと基本的に同一である。またその動作方法も基本的に同一である。従って、図 1 に示す各構成要素の説明は、特に断らない限り実施例 1 に示したものを参照すればよい。図 1 に示す構成をガスセンサーとして利

用するには、ダイヤモンド薄膜 13 と 101 とを被計測気体に接触させる必要がある。そして、ダイヤモンド薄膜 13 と 101 とに接触する被計測気体の流れを一定なものとする必要がある。これは、気体の流れに変動があると、流量の流れの影響が出力に表れてしまうからである。また被計測気体の温度を検出するための測温抵抗体 111 もな被計測気体に接触させる必要がある。

【0258】動作方法は、実施例 1 に示したものと基本的に同じである。図 1 に示す構成をガスセンサーとして利用した場合、被計測気体中に含まれる特定のガスの濃度によって、図 4 に示す応答波形の面積 44 が変化する。即ち、図 4 の 44 に示す応答波形の面積は、被計測気体中の特定のガスの濃度に関する情報を含むことになる。従って、被計測気体中における特性のガスの濃度  $C$  は、図 4 の 44 に示す応答波形の面積  $S$  と測温抵抗体 111 で検出される被計測気体の温度  $T$  とを用いて、 $C = F(S, T)$  で示されることになる。

【0259】即ち、下記表 6 に示すような関係を予め求めておき、メモリー（図 1 および図 2 には図示せず）に記憶させておくことで、特定のガスの濃度  $C_m$  を得ることができる。

【0260】

〔表 6〕

	$S_1$	$S_2$	$S_3$	.....	$S_n$
$T_1$	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$		$C_{1n}$
$T_2$	$C_{21}$	$C_{22}$	$C_{23}$		$C_{2n}$
$T_3$	$C_{31}$	$C_{32}$	$C_{33}$		$C_{3n}$
⋮					⋮
$T_m$	$C_{m1}$	$C_{m2}$	$C_{m3}$	.....	$C_{mn}$

【0261】本実施例に示すような構成を採用することにより、被計測気体の温度の影響を大きく低減させて特性のガスの濃度計測や検出を行うことができる。

【0262】本実施例では、特定のガスの濃度を計測する場合の例を示したが、被計測気体を空気として、上記表 6 における  $C_i$  を湿度とすれば、空気中の湿度を計測することができる。

【0263】〔実施例 12〕本実施例は、図 11 に示す構成を利用して、ガスセンサーを実現する場合の例を示す。図 11 に示す構成をガスセンサーに利用する場合、被計測気体をダイヤモンド薄膜 13 と 101 とに接しさせる必要がある。またダイヤモンド薄膜 13 と 101 とに接する被計測気体の流量は、一定である必要がある。また、測温抵抗体 111 も被計測気体に接しさせる必要がある。

【0264】本実施例に示すガスセンサーを実現するに

は、所定の組成または所定の濃度のガスを含んだ被計測気体にダイヤモンド薄膜13と101と測温抵抗体111とが接した状態において、発熱体11からのパルス状の加熱に対するダイヤモンド薄膜13の応答特性(図4の44で示される面積 $S_i$ として評価される)が一定なものとなるような、測温抵抗体で検出される気体の温度 $T_n$ と発熱体11にD/Aコンバータ1101から供給される電圧 $V_n$ との組み合わせを求める必要がある。この $T_n$ と $V_n$ との組み合わせを下記表7に示す。

【0265】

【表7】

$V_1$	$T_1$	$S_1$
$V_2$	$T_2$	$S_1$
$V_3$	$T_3$	$S_1$
$V_4$	$T_4$	$S_1$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$V_n$	$T_n$	$S_1$

【0266】表7に示すのは、図4の44で示されるダイヤモンド薄膜13の応答特性を一定なものとするためには、所定の組成または所定の濃度のガスを含んだ温度 $T_n$ の気体に対して、発熱体11に供給する電圧 $V_n$ をどのような値とすれば良いかを示したものと見える。なおここで、 $n$ は任意の自然数とする。

【0267】換言すれば表7が意味するところは、測温抵抗体111で検出される被計測気体の温度 $T_n$ に対して、 $V_n$ で示される電圧を発熱体11に供給すれば、所定の組成または所定の濃度のガスを含んだ被計測気体に対して、一定の応答特性を得ることができるということである。

【0268】実際の計測においては、測温抵抗体111によって被計測気体の温度 $T_n$ を求め、この $T_n$ の値に基づいて、CPU107において半導体メモリー1102に記憶された表7に示す関係に基づいて、対応する $V_n$ を求め、A/Dコンバータ1101からこの $V_n$ でもって発熱体11に電圧が供給される。この結果得られる応答特性 $S_i$ は、被計測気体の温度の影響を受けない、または受けにくいものとなる。

【0269】なお、 $n$ の数はできるだけ多くした方が計測精度を高めることができる。また、被計測流体の組成も1つだけではなく、計測範囲の中において複数の組成を選び、その場合毎において、表7に示す関係を求めておくことは有効である。

【0270】本実施例に示す構成を採用することによって、高い精度で温度補償を行いつつ特性のガスの濃度の計測や検出を行うことができる。勿論、空気中の湿度の計測を行うこともできる。

【0271】また、本実施例に示す構成は、異なる2つ

の気体の混合比を計測する場合にも利用することができる。この場合、被計測気体のガス濃度を2つの気体の混合比に置き換えて考えればよい。

【0272】

【発明の効果】パルス状の加熱に対する薄膜材料の応答特性を評価することによって、

- ・ドリフトの無い計測値をシンプルな構成で得ることができる。

- ・加熱をパルス状のものとする事で、消費電力を抑えることができる。

といった効果を得ることができる。

【0273】特に薄膜材料としてダイヤモンド薄膜を用いた場合には、上記効果に加えて、

- ・従来必要であったようなドリフト補正用の複雑な補正回路を必要とせずに、高感度、高ダイナミックレンジの流量計測を行うことができる。

- ・パルス状の加熱の際に供給する熱量を少なくとすることができ、さらに消費電力を少なくとすることができる。

【0274】また、パルス状の加熱に際する薄膜材料の応答特性と別に検出された流体および/または計測環境の温度とを用いて、流量値を算出することで、流体および/または計測環境の温度と影響されない流量計測を行うことができる。

【0275】また、パルス状の加熱を行う手段に以下のような温度補償機能を有せしめることで、正確な流量計測を行うことができる。

(1) 流体および/または計測環境の温度によって発熱量が変化しない、またはその変化の少ない手段を用いることで、流体および/または計測環境の温度による流量計測値の影響を低減することができる。

(2) パルス状の加熱を行う手段として、流体および/または計測環境の温度に対応させて、発熱体を駆動するパラメータ(例えば駆動電圧)を変化させることで、流体および/または計測環境の温度による流量計測値の影響を低減することができる。

【0276】また、被計測パラメータ(例えば流体の流量)が一定の状態において、パルス状の加熱を行う手段からの加熱に対する薄膜材料の応答特性を、流体および/または計測環境の温度変化に対して一定なものとなるようにすることによって、流体および/または計測環境の温度変化に対する温度補償を行いつつ、前記応答特性から被計測パラメータの値を得ることができる。

【0277】また、以上述べた効果は、流量計測以外に、

- ・流体の熱伝導率や比熱の計測。

- ・流体の識別。

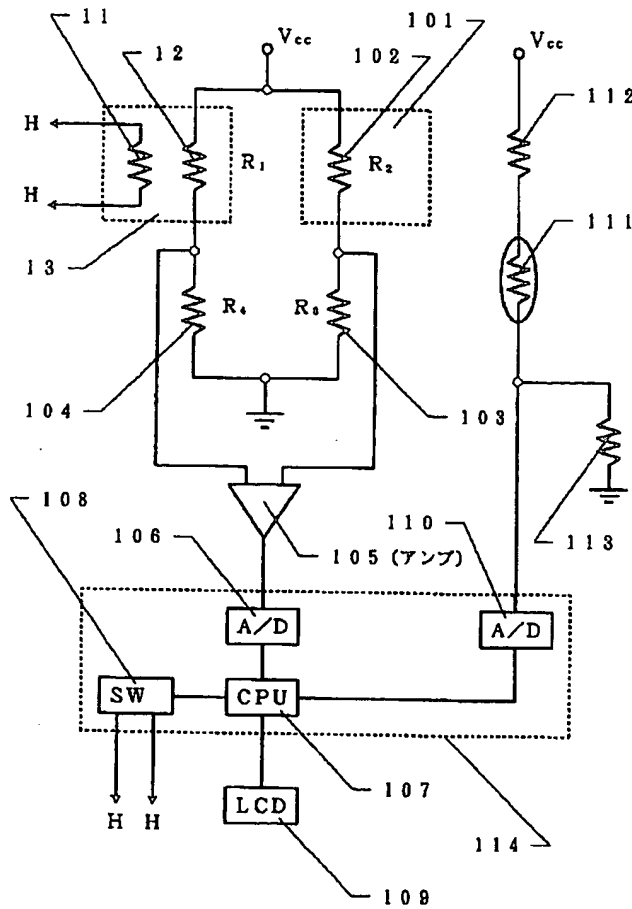
- ・複数の流体の混合比の計測。

- ・流体中に含まれる物質の濃度の計測(例えば湿度の計測)

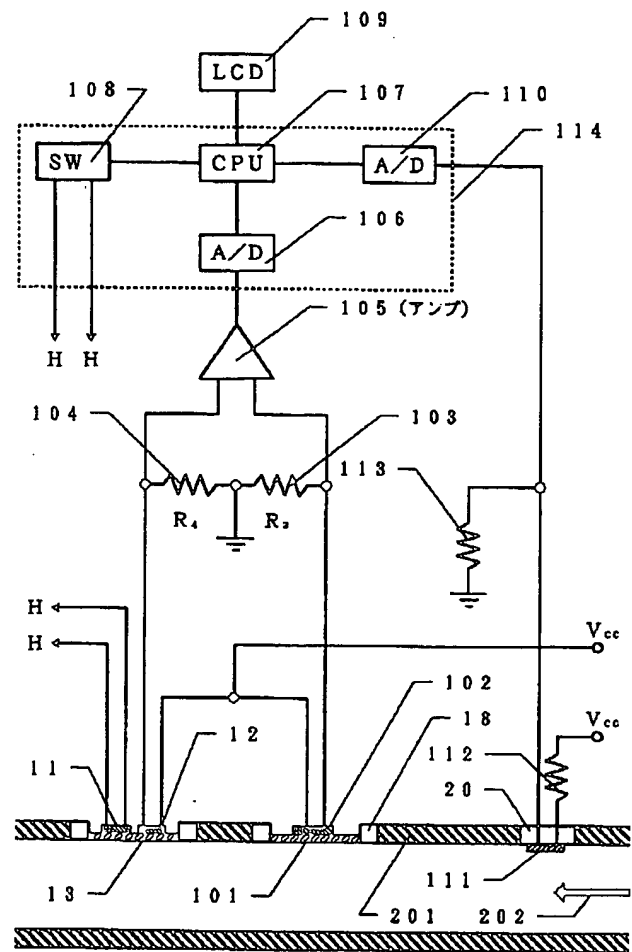
を行う場合においても得ることができる。

【図面の簡単な説明】	108	スイッチ
【図1】 実施例の流量計測センサー概略の構成を示すブロック図。	109	LCD（外部表示装置）
【図2】 実施例の流量計測センサー概略の構成を示す図。	110	アンプ
【図3】 実施例の流量計測センサーの素子の構成を示す図。	111	測温抵抗体
【図4】 ダイヤモンド薄膜のパルス状の加熱に対する過渡応答特性を示す図。	112	抵抗体
【図5】 ダイヤモンド薄膜のパルス状の加熱に対する過渡応答特性を示すオシロスコープの表示を示す図。	113	抵抗体
【図6】 実施例の流量計測センサーで計測した窒素流体の流量と公差との関係を示す図。	114	1チップの集積回路
【図7】 実施例の流量計測センサーの概略の構成を示す図。	201	パイプ
【図8】 実施例の流量計測センサー概略の構成を示すブロック図。	202	流体
【図9】 実施例の流量計測センサー概略の構成を示すブロック図。	10、15	電極
【図10】 従来より公知の測温抵抗体を用いた流量計測センサーの概略の構成を示す図。	17	ボンディングワイヤ
【図11】 実施例の流量計測センサー概略の構成を示すブロック図。	18、20	テフロン製の基体
【図12】 実施例の流量計測センサー概略の構成を示す図。	19	流体
【符号の説明】	600	レーザー光発振装置
11	601	レーザー光
12	801～803	抵抗体
13	804	測温抵抗体（白金薄膜）
101	805	ダイヤモンド薄膜
102	806	抵抗体（白金薄膜）
103、104	807、808	抵抗体
105	809	ダイヤモンド薄膜
106	810	測温抵抗体（白金薄膜）
107	811	発熱体（白金薄膜）
	812、813	アンプ
	814	A/Dコンバータ
	815	CPU
	816	LCD（表示装置）
	817	A/Dコンバータ
	818	抵抗体
	819	測温抵抗体
	820	抵抗体
	301、302	測温抵抗体
	303、304	抵抗体
	305	アンプ
	307	流体

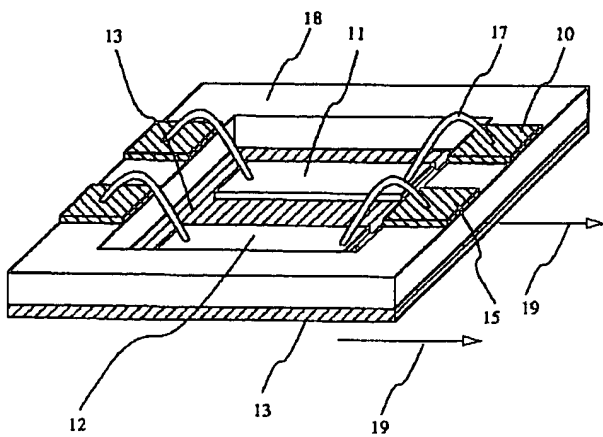
【図1】



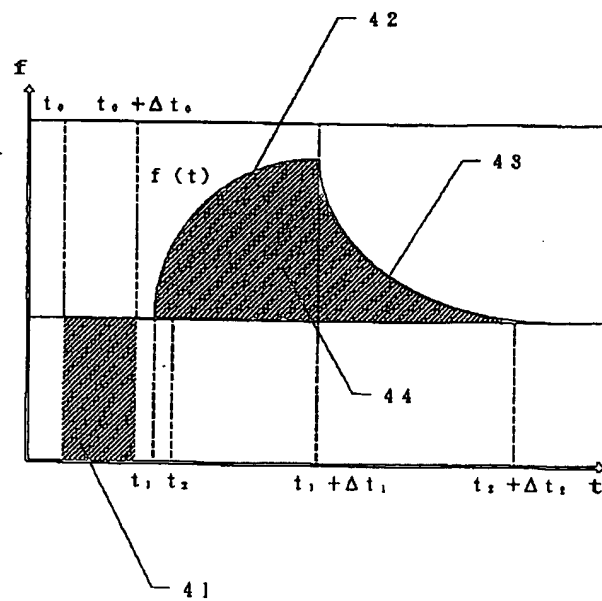
【図2】



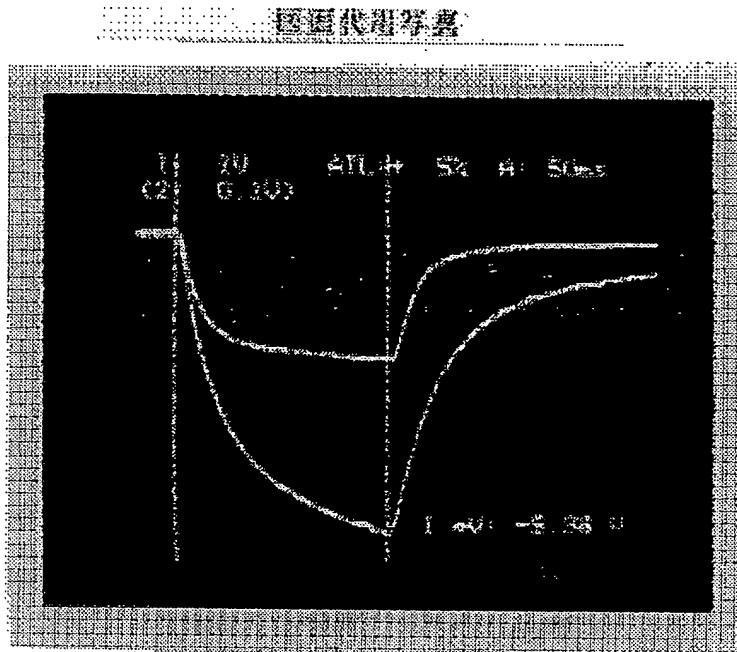
【図3】



【図4】

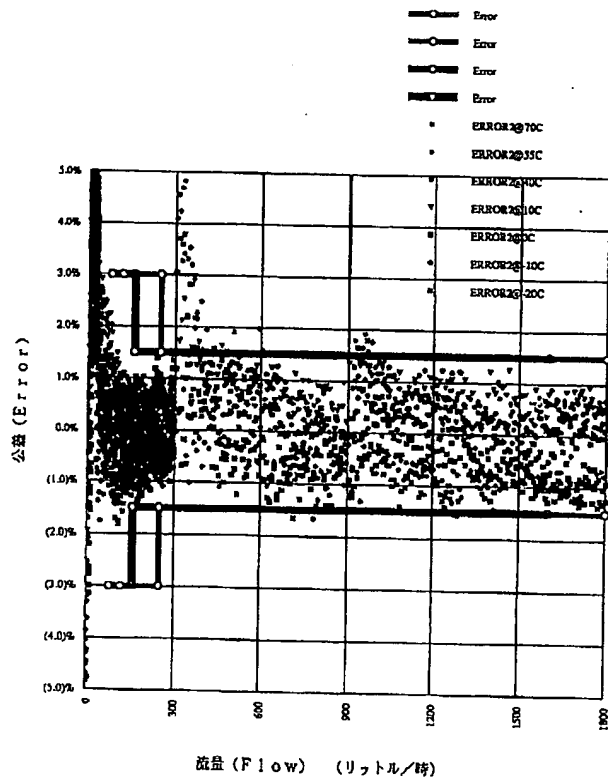


【図5】

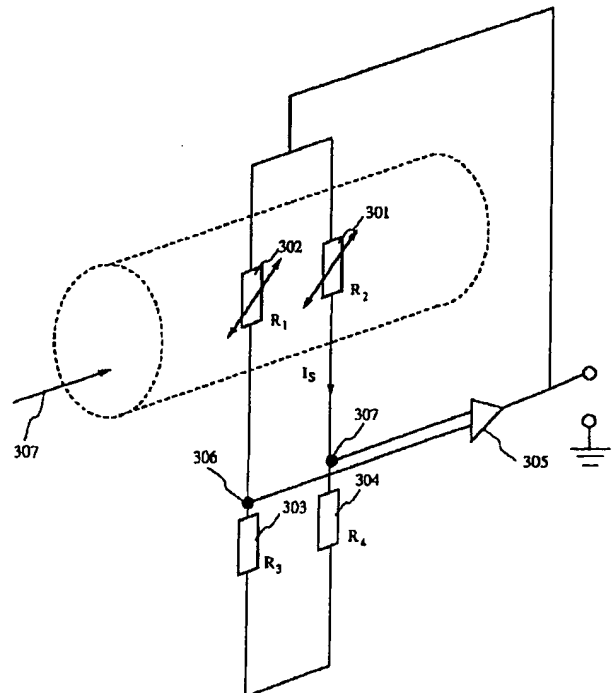


写真

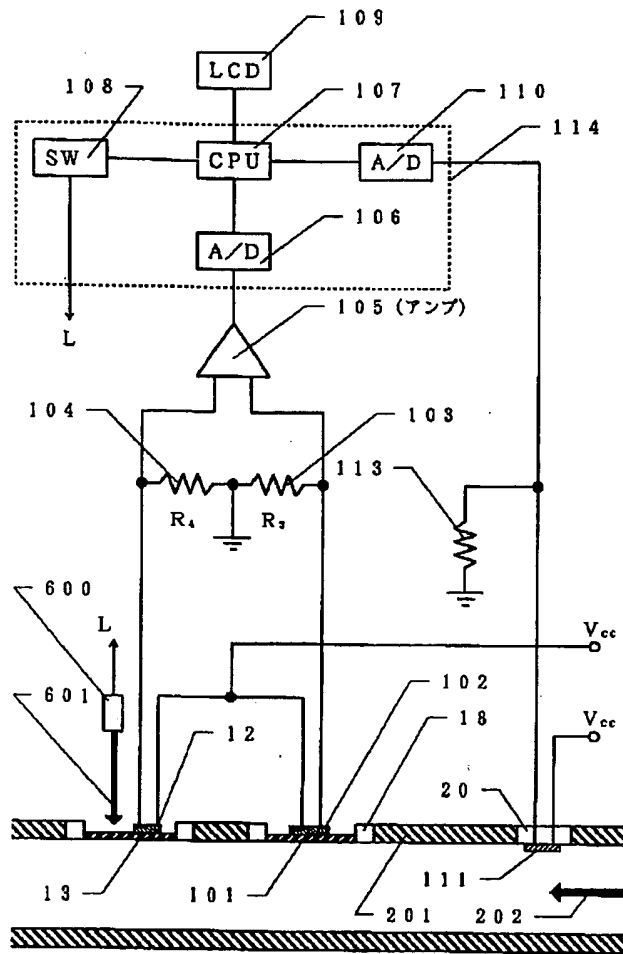
【図6】



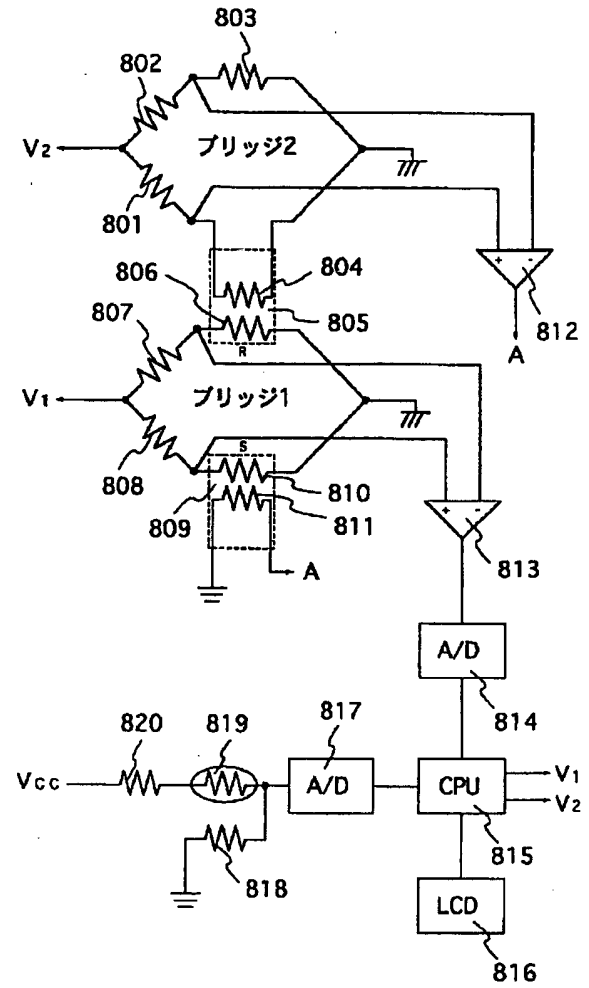
【図10】



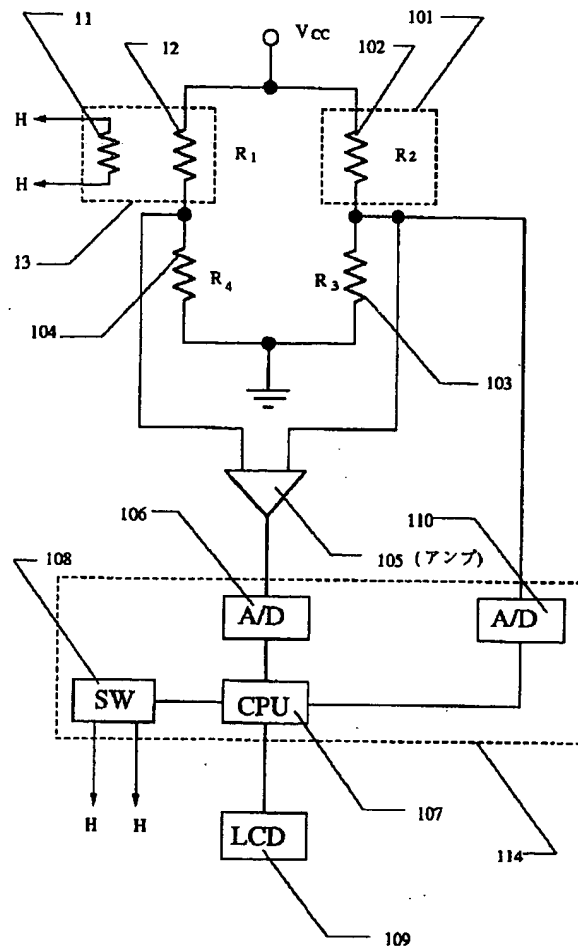
【図7】



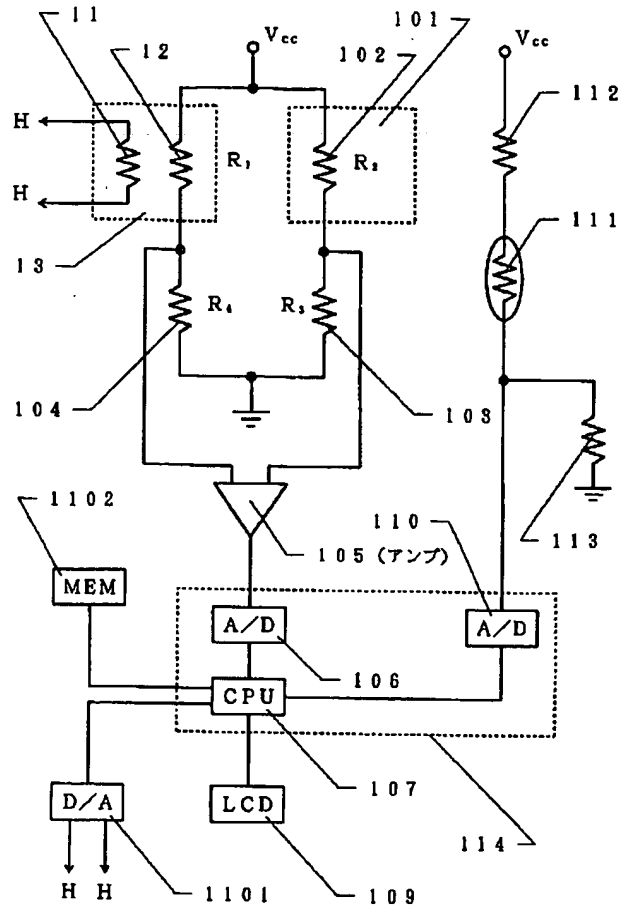
【図8】



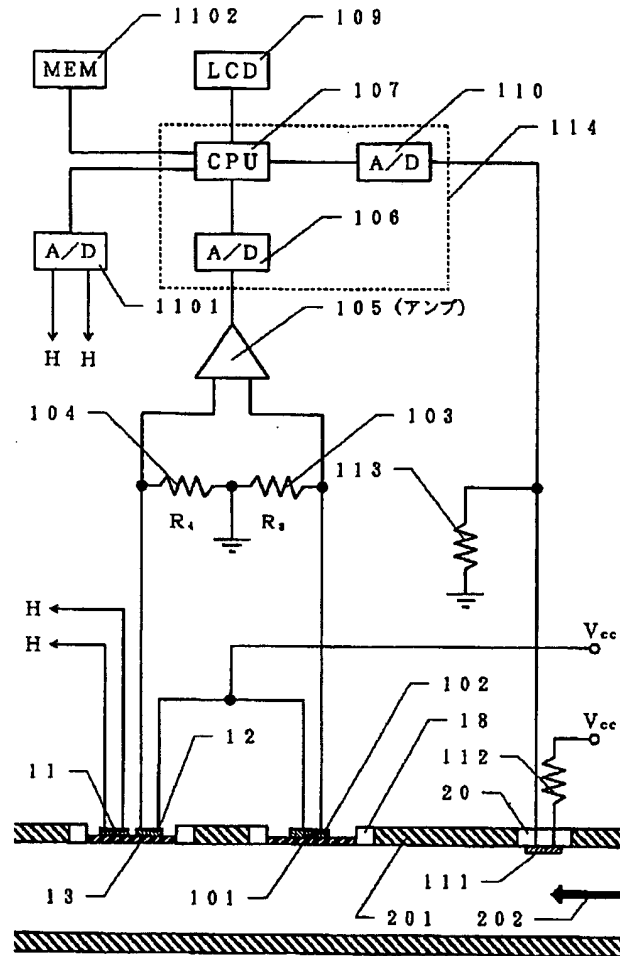
【図9】



【図11】



【図12】



## 【手続補正書】

【提出日】平成6年12月19日

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図面の簡単な説明

【補正方法】変更

【補正内容】

【図面の簡単な説明】

【図1】 実施例の流量計測センサー概略の構成を示すブロック図。

【図2】 実施例の流量計測センサー概略の構成を示す図。

【図3】 実施例の流量計測センサーの素子の構成を示す図。

【図4】 ダイヤモンド薄膜のパルス状の加熱に対する過渡応答特性を示す図。

【図5】 オシロ波形を示す写真。

【図6】 実施例の流量計測センサーで計測した窒素流体の流量と公差との関係を示す図。

【図7】 実施例の流量計測センサーの概略の構成を示す図。

【図8】 実施例の流量計測センサー概略の構成を示すブロック図。

【図9】 実施例の流量計測センサー概略の構成を示すブロック図。

【図10】 従来より公知の測温抵抗体を用いた流量計測センサーの概略の構成を示す図。

【図11】 実施例の流量計測センサー概略の構成を示すブロック図。

【図12】 実施例の流量計測センサー概略の構成を示す図。

## 【符号の説明】

11	発熱体（白金薄膜）
12	測温抵抗体（白金薄膜）
13	ダイヤモンド薄膜
101	ダイヤモンド薄膜
102	測温抵抗体



103、104	抵抗体	804	測温抵抗体（白金薄膜）
105	アンプ	805	ダイヤモンド薄膜
106	A/Dコンバータ	806	抵抗体（白金薄膜）
107	CPU	807、808	抵抗体
108	スイッチ	809	ダイヤモンド薄膜
109	LCD（外部表示装置）	810	測温抵抗体（白金薄膜）
110	アンプ	811	発熱体（白金薄膜）
111	測温抵抗体	812、813	アンプ
112	抵抗体	814	A/Dコンバータ
113	抵抗体	815	CPU
114	1チップの集積回路	816	LCD（表示装置）
201	パイプ	817	A/Dコンバータ
202	流体	818	抵抗体
10、15	電極	819	測温抵抗体
17	ボンディングワイヤ	820	抵抗体
18、20	テフロン製の基体	301、302	測温抵抗体
19	流体	303、304	抵抗体
600	レーザー光発振装置	305	アンプ
601	レーザー光	307	流体
801～803	抵抗体		

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**